Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale di Zurigo
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie
Institutsleitung Prof. Dr. Helmut Krueger

Motivierte Aufmerksamkeit und Atmung

Habilitationsschrift

vorgelegt an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich durch

Brigitta Danuser - Nideröst

Zürich, im April 2001

Inhaltsverzeichnis

Danksagung 6

1 Zusammenfassung 8

2 Einleitung 12
2.1 Kulturgeschichtlicher Exkurs 12
2.2 Medizingeschichtlicher Rückblick 13
2.3 Die psychischen und mentalen Anforderungen 14
2.4 Die Atmung: ein Werkzeug 16
2.4.1 Forschungsziel dieser Studie 17

3 Stand des Wissens 20
3.1 Beanspruchung durch mentale Arbeit 20
3.1.1 ‚Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption 22
3.1.2 Auftrags-Auseinandersetzungskonzeption 23
3.1.3 Erfassung der Beanspruchung 30
3.2 Belastungen in der Arbeitswelt 33
3.2.1 Reaktionsgrundlage von Umweltreizen 33
3.3 Die Atmung 40
3.3.1 Regulation der Atmung 41
3.3.2 Einflüsse auf die Ventilation und das Atemmuster 46
3.3.3 Umwelteinflüsse, Stressoren 47
3.3.4 Mentale Arbeit 50
3.3.5 Emotionen 53

4 Methodik 60
4.1 Das Atemmuster 60
4.1.1 Messmethoden 63
4.1.2 Einfluss der Körperhaltung auf die Volumenerfassung 65
4.2 Experimentelle Untersuchung I: Einfluss von Positionswechsel 70
4.2.1 Methodik: 72
4.2.2 Resultate 73
4.2.3 Diskussion 76

5 Aufbau einer Atemmuster-Messumgebung 82
5.1 Aufgabenstellung 82
5.1.1 Messbedingungen 82
5.2 Implementierung 84

5.2.1 Übersicht 84
5.2.2 RespiG – Virtual Instruments 84
5.2.3 Hinweise zur Implementierung 85
5.2.4 RespiG – Kalibrierung (LabView) 90
5.2.5 RespiG Cal (MATLAB) 90
5.2.6 RespiG Conv (MATLAB) 98
5.3 Ablauf eines Versuches 99
5.3.1 Interne Kalibrierung von RespiG 102
5.3.2 Kalibrierung von RespiG 102
5.3.3 RespiG – Atemmuster-Messungen (LabView) 103
6 Experiment II: Verschiedene mentale u/o motorische Aufgaben 118
6.1 Einleitung 118
6.2 Methodik 120
6.2.1 Überblick 120
6.2.2 Versuchspersonen 121
6.2.3 Gemessene Parameter 122
6.2.4 Die verwendeten Geräte 123
6.2.5 Datenanalyse 132
6.3 Ergebnisse 136
6.3.1 Untersuchte Atemparameter 136
6.3.2 Ergebnisse Atemparameter 136
6.3.3 Vergleich der Atemparameter während Test- und Pausen 137
6.3.4 Unterschiede in der Atmung bei Männern und Frauen 138
6.3.5 Ergebnisse Herzfrequenz 143
6.3.6 Ergebnisse Muskelaktivität 144
6.3.7 Subjektiven Einschätzungen 146
6.3.8 Leistungsparameter 148
6.3.9 Hypothesenprüfung 148
6.4 Diskussion 149
7 Experiment III: Einfluss von Gerüchen auf Atmung und mentale Performance 158
7.1 Fragestellung 158
7.2 Methodik 161
7.2.1 Versuchspersonen 161
7.2.2 Versuchsdesign und Sitzungsablauf 161
7.2.3 Apparatur 162
7.2.4 Geruchsschwellenbestimmung 163
7.2.5 Atemparameter 163
7.2.6 Mentale Aufgabe, Multi-Test 163
7.2.7 Fragebogen 164
7.2.8 Datenanalyse 165
7.3 Resultate 166

7.3.1 Versuchspersonen: 166
7.3.2 Atemparameter 167
7.3.3 Performance....175
7.3.4 Subjektive Einschätzung 179
7.4 Diskussion 181
8 Experiment IV: Einfluss von induzierten Emotionen....190
8.1 Aufgabestellung 192
8.2 Methodik 193
8.2.1 Versuchspersonen 193
8.2.2 Eysenck Personality Inventory 193
8.2.3 Die gezeigten Bilder 194
8.2.4 Bestimmung der affektiven Antwort....197
8.2.5 Messung der Atemparameter....198
8.2.6 Messung der Herzrate und der Hautleitfähigkeit....198
8.2.7 Ablauf einer Untersuchung....199
8.2.8 Daten Analyse und Statistik 199
8.3 Ergebnisse....201
8.3.1 Versuchspersonen 201
8.3.2 Subjektive affektive Einschätzung der Bildserien....202
8.3.3 Atmung....207
8.3.4 Affektiven Dimensionen und Atemparametern....209
8.3.5 Herzrate und Hautleitfähigkeit....216
8.3.6 Affektiven Dimensionen und Herzrate und Hautleitfähigkeit 217
8.4 Diskussion 219
9 Integration der Resultate in den Stand des heutigen Wissens....228
9.1 Konzeption der mentalen Arbeit 228
9.1.1 Aufwand und Aufmerksamkeit 229
9.1.2 Die Handlung und Handlungsausführung 234
9.1.3 Aufgaben-Kombination und geteilte Aufmerksamkeit 236
9.1.4 Die Regulation....241
9.1.5 Aufmerksamkeit als motivational gesteuerte Neuromodulation 245
9.1.6 Fazit: 249
9.2 Die Atmung....249
9.2.1 Das Verhalten der Zeitparameter....250
9.2.2 Das Inspirationsvolumen (Vi) 257
9.3 Methodik 261
9.4 Praktische Empfehlungen 262
9.5 Ausblick 263
10 Literaturnachweis 266
11 Glossar....286

12 Verzeichniss der Tabellen 288

13 Verzeichniss der Abbildungen 291

Danksagung

Als erstes möchte ich mich bei allen bedanken, die diese Arbeit überhaupt ermöglicht und unterstützt haben. Bei meinem Mann, ohne dessen Ermutigung und Unterstützung diese Arbeit nie zustande gekommen wäre. Bei meinen Kindern, die geduldig ihre gestresste Mutter ertrugen. Für die Freiheit einen ungewöhnlichen physiologischen Parameter, die Atmung, zu evaluieren, sowie die konzeptionellen Anregungen möchte ich Herrn Prof. Krueger danken.

Viele Teile dieser Arbeit sind im Rahmen von Diplomarbeiten entstanden. Thomas Dübendorfer entwarf und programmierte die Atemmustererfassungs- und Auswertungsumgebung, die Kristof Pietrak weiterentwickelte. Sirkka Manschke unternahm die ersten Gehversuche mit der äusseren Erfassung des Atemmusters. Denise Moser führte das Geruchsexperiment durch, zusammen entdeckten wir die faszinierende Riech-Welt. Bei der technischen Aufbereitung hat Tanja Vitale ihr Wissen und Können eingebracht. Felicitas Marbach evaluierte die Auswirkungen von verschiedenen Aufgaben in ihrer höchst effizienten Arbeitsweise. Auch die Motorik Gruppe am IHA unter der Leitung von Thomas Läubli, hat sich an diesem Versuch beteiligt und Michael Schnoz wertete die EMG Daten aus. Ohne Patrick Gomez wäre die Untersuchung mit den induzierten Emotionen nie zustande gekommen, insbesondere sind seine Anstrengungen für eine adäquate Auswertung zu verdanken. Dank gebührt auch den vielen Versuchspersonen, die an den Versuchen teilnahmen. Auch bei Urs Hinnen und Tamara Sterchi möchte ich mich bedanken, sie haben dafür gesorgt, dass das Nachdiplomstudium Arbeit + Gesundheit reibungslos lief.

Viele Gespräche und Diskussionen befruchteten diese Arbeit. Marco Baschera (Universität Zürich) eröffnete mir die Vorstellungen der homerischen Griechen. James Walker (Sensory research, University of Florida) zwang mich mit seinen bohrenden Fragen die Konzepte psychophysiologisch zu fundieren. Terry Blumenthal (Wake Forest University, Winston-Salem) lenkte meine Aufmerksamkeit auf die Aufmerksamkeit. Ellies Rubinstein (AAA

Science), Michael Lebowitz (University of Arizona) und Theo Koller (IHA, ETHZ) danke ich für ihr Interesse und die Unterstützung meiner Ideen.

Ich möchte an dieser Stelle auch meinen Eltern danken, die mir ein Studium ermöglicht haben und mit Anteilnahme und Toleranz meinen Weg begleiteten. Nicht vergessen werden sollen auch meine Freunde, die dafür sorgten, dass meine sozialen und sportlichen Kompetenzen nicht ganz verloren gingen, insbesondere Astrid Hollenstein, Barbara Flückiger und Daniel Künzle (ZfW, ETHZ).

Mein Dank gilt auch allen Mitarbeitern des Institutes für Hygiene und Arbeitsphysiologie, gemeinsam erleben wir ein offenes, motivierendes und anregendes Arbeitsklima.

1 Zusammenfassung

Mentale Aufgaben beinhalten eine Stimulus-Selektion, die Selektion eines Aktionsprogramms, sowie die eigentliche Verrichtung und führen in Abhängigkeit von der Motivation, der Arbeitsweise und der notwendigen regulatorischen Vorgänge zur Beanspruchung des Arbeitenden. Diese Arbeit befasst sich mit den zur Beanspruchung führenden Vorgängen sowie mit dem Verhalten der Atmung. Dazu wurde eine Atemmuster-Erfassungsumgebung und eine Atmungskurven-Analytik entwickelt. Insgesamt wurden drei Hauptexperimente durchgeführt. Verschiedene Aufgaben mit unterschiedlichen kognitiven und motorischen Anteilen, wurden auch in bezug auf die subjektiv erfasste Beanspruchung und auf die Atmung untersucht. In einem weiteren Experiment wurde der Einfluss von Störfaktoren, in diesem Fall von Gerüchen auf die Leistung und Atmung analysiert. Die Auswirkungen induzierter Gefühle auf affektive Dimensionen und ihre Beziehung mit physiologischen Parametern waren das Thema des letzten Experimentes. Zudem wurde der Einfluss der Persönlichkeitsvariable Extraversion evaluiert.

Alle mentalen Aufgaben sind mit einer motorischen Verrichtung verbunden. Es zeigte sich, dass die motorischen Anforderungen die Beanspruchung stark beeinflussen. Die mit der Aufgabe verbundene motorische Verrichtung ist Teil der Beanspruchung und kann nicht gesondert betrachtet werden. Die motorische Umsetzung gehört vielmehr implizit zur Aktion und trägt unweigerlich zur Anspannung des arbeitenden Menschen bei. Arbeit ist als Kontinuum mit unterschiedlich variierenden Anteilen an kognitiven und motorischen Anforderungen zu verstehen. Unsere Untersuchungen bestätigen, dass externe Störfaktoren - hier Gerüche - die mentale Leistung beeinträchtigen und zwar in Abhängigkeit ihrer affektiven Bedeutung. Störfaktoren mit affektiver Bedeutung stellen unser inneres Aufgabenleistungs-Ziel in Frage und lösen infolgedessen eine Tätigkeitsregulation aus.

Die gefundenen Ergebnisse werden, zusammen mit der zugrunde liegenden Auftrags-Auseinandersetzungs-Konzeption der mentalen Arbeit in ein Aufmerksamkeitskonzept integriert und diskutiert. Das Individuum investiert gemäss seiner Motivation, die aus dem Match-Missmatch-Verhältnis zwischen

Langzeitzielen und aktuellen Gegebenheiten resultiert, Aufmerksamkeit in die Aufgabe. Aufmerksamkeit wird als Neuromodulation verstanden. Die Aufmerksamkeit bewirkt eine Aktivierung der notwendigen kortikalen Felder, wobei äussere Stimuli notwendig sind um diese Aktivierung genau zu adjustieren. Umweltstimuli, die in sich eine affektive motivationale Bedeutung haben, können eine interferierende Orientierungsantwort erzwingen und die Aufmerksamkeit umlenken. Die Tätigkeitsregulation verlangt einen Wechsel von Aktionsprogrammen, also implizit eine Verlagerung oder Neuadjustierung der Aufmerksamkeit. Die primär investierte Aufmerksamkeit zusammen mit der Aufmerksamkeitsregulation führt zur Beanspruchung.

Die Atmung erwies sich als hoch sensitiver physiologischer Parameter, der sowohl mit objektiven Anforderungen (Motorik) wie auch mit subjektiven Befindlichkeitseinschätzungen in Beziehung stand. In den verschiedenen Versuchen stiessen wir immer wieder auf einen klaren, konsistenten Zusammenhang zwischen der Einatmungsdauer und der Erregung. Gemäss Easterbrook korreliert die Merkmalselektion mit der Erregung. Auch die Abnahme der Einatmungszeit sofort nach dem Beginn der Exposition zu übelriechenden Gerüchen bestätigen den Zusammenhang zwischen Ti und der Merkmalselektion und -Verarbeitung. Der vorgefundene Shift in der Beziehung zwischen der Einatmungszeit und dem Arousal bei den Extravertierten untermauert zusätzlich, dass die Einatmungszeit eine Funktion der Aufmerksamkeit und insbesondere der Merkmalselektion darstellt und demonstriert den Einfluss von Persönlichkeitsmerkmalen auf die Stimulus-Reaktions-Beziehung. Die Einatmungszeit wird als Funktion der motivationalen Aufmerksamkeit verkürzt oder verlängert und beeinflusst dadurch insbesondere die zeitliche Reizauflösung.

Das Inspirationsvolumen zeigte Beziehungen mit der Anspannung aufgabeirrelevanter Muskulatur, mit der Beanspruchung sowie mit der affektiven Dimension Valenz. Auch wenn das Inspirationsvolumen noch nicht im Detail verstanden wird, weisen die Befunde darauf hin, dass das Inspirationsvolumen den situationalen metabolischen Bedarf repräsentiert. Dieser setzt sich aus motorischen, emotionalen und aufmerksamkeitsregulatorischen Anteilen zusammen.

Auch praktische Empfehlungen insbesondere auf der Ebene der Aufgabengestaltung werden aus den Experimenten abgeleitet.

2 Einleitung

Cette question du souffle est en effet primordiale, elle est en rapport inverse avec l'importance du jeu extérieur. Aus: Antonin Artaud 1964: Le théatre et son double

2.1 Kulturgeschichtlicher Exkurs

Der eigentlichen Thematik dieser Forschungsarbeit möchte ich einen kurzen geschichtlichen Exkurs vorausschicken, da mir dies wichtig erscheint, um unsere Untersuchungen in einen grösseren Zusammenhang zu stellen.

Bekanntlich hat das Menschen- und Lebensbild der Griechen unser europäisches Denken wesentlich geprägt. Atem bedeutet für die Griechen zur Zeit Homers in erster Linie Bewusstsein. Bewusstsein beinhaltet für sie Fühlen, Wahrnehmen, Denken sowie auch die Vorbereitung zum Handeln. Sterben wird dadurch gekennzeichnet, dass der Atem den Körper definitiv verlässt. Der Tote im Reich des Hades hat keinen Atem, kein Bewusstsein mehr, obwohl er als 'Person' weiterhin existiert. Denken wird unmittelbar mit dem Atemvorgang verknüpft, denn das Sprechen und somit auch das Atmen dient dem Ausdruck der Gedanken. Selbst die Wahrnehmungsvorgänge werden dem Atmungstrakt zugeschrieben. Die Wahrnehmung unserer Umwelt, ja das eigene Bewusstsein, ist nach griechisch-antiker Vorstellung aufs Engste mit der Atmung verknüpft. Nicht aber die unsterbliche Seite des Menschen, die Seele, sein eigentliches Wesen. Dieses wird mit dem Hirn, dem Samen, dem Rückenmark und den langen Knochen in Verbindung gebracht (Onians 1951).

Als Nachfolger der Griechen entwickeln die Römern v.a. die immortalen Ansätze dieses Lebensbildes weiter. Die Bedeutung des Atems als Träger des Bewusstseins verliert jedoch allmählich seine ursprüngliche Klarheit. Der Dualismus von Bewusstsein einerseits (Atmen) und Seele/Wesen anderer-

seits (Kopf/Hirn) verändert sich seit den Römern langsam und mündet schliesslich in den heutigen Dualismus von Körper und Geist. Doch sind Relikte der ursprünglichen Vorstellung von Atmung als Ausdruck von Wahrnehmung und Bewusstsein in unserem heutigen Sprachgebrauch durchaus noch enthalten. Man denke an Wendungen wie ‚einen langen Atem haben' im Sinne von: ein langes Leben haben, ausdauernd sein oder an Ausdrücke wie soufflieren für einflüstern, bei denen die Konnotationen zur dieser Vorstellung durchaus noch mitschwingen.

2.2 Medizingeschichtlicher Rückblick

Anfangs des 19 Jahrhunderts wurden erstmals Atemmuster als diagnostisches Kriterium beschrieben: die periodische Cheyne-Stokes-Atmung von den irischen Ärzten Cheyne und Stoke und etwas später die Kussmaulsche Atmung von Kussmaul in Strassburg. Bereits um 1905 erkannte Haldane die Symptome und Folgen der Hyperventilation.

Die Geschichte der Atemmuster Forschung im modernen naturwissenschaftlichen Sinne setzte anfangs des 20. Jahrhunderts ein. Die ersten eigentlichen wissenschaftlichen Untersuchungen befassten sich v.a. mit der Beziehung zwischen Atmung und Emotionen, wobei davon ausgegangen wurde, dass verschiedene Emotionen durch unterschiedliche Atemantworten gekennzeichnet seien (Feleky 1914, Rehwoldt 1911). Diese Hypothesen wurden in den 80er Jahren wieder aufgenommen (Santibanez und Bloch 1986, Bloch et al 1991, Boiten 1998). In den 70er Jahren entstanden v.a. wegweisende Arbeiten über die Regulation des Atemzyklus und die Interaktionen zwischen dem zentralen Inspirations-Drive und den Zeitkomponenten (Clark und von Euler 1972, Milic-Emili und Grunstein 1976, von Euler 1977, Bradley 1977, Milic-Emili et al 1981). Als grundlegend für die Entwicklung der neueren Erfassungsmethoden gilt das Lungenkompartimentsmodell von Konno und Mead (1967). Die Atemmustererfassung als psychophysiologischer Parameter setzte in den 80er Jahren ein, nachdem bereits in den späten 70er Jahren nicht-invasive Erfassungsmethoden entwickelt worden waren (Sackner 1980, Chadha et al 1982).

Zu den ältesten Forschungsthemen der Arbeitspsychologie und der Arbeitswissenschaften ist die mentale Belastungs-Beanspruchungsforschung zu zählen. Schon 1902 unternahm Kraeplin den Versuch, die geistige Leistungsfähigkeit psychiatrisch zu beurteilen. Im Zuge der Industrialisierung untersuchte man das Arbeitszeitregime und entwickelte Gestaltungsvorschläge zur Verhinderung von Ermüdungserscheinungen (Thorndike, 1900, Poffenberger 1928, Graf 1922). Mit der Rationalisierung geistiger Arbeit durch den Computer und der damit einhergehenden Abnahme der körperlichen Belastung hat sich das Interesse an der psycho-mentalen Belastungs-Beanspruchungsforschung noch verstärkt. Dies spiegelt sich u.a. in der sog. „Maschinen-Richtlinie“im EG-Vertrag 1989/91 (Artikel 100a). Darin steht: *Es müssen Belästigung, Ermüdung und psychische Belastung (Stress) des Bedienpersonals unter Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien auf das mögliche Mindestmass reduziert werden. International wird der Ausschluss gesundheitlicher Gefährdungen durch mangelhafte Arbeitsgestaltung, durch Ermüdung und Monotonie gefordert*. Die Internationale Normenvereinigung ISO ihrerseits ist bemüht Kernbegriffe der Belastungs-Beanspruchungsforschung und Vermeidungsmöglichkeiten von Fehlbelastungen, Monotonie, Sättigung und reduzierter Aufmerksamkeit zu standardisieren (ISO 10075-1,2; Nachreiner 1994).

2.3 Die psychischen und mentalen Anforderungen

Die Arbeit und ihre Anforderungen an den arbeitenden Menschen haben sich in den letzten 40 Jahren fundamental verändert. Die körperlichen Anforderungen traten mehr und mehr in den Hintergrund, auch wenn sie in gewissen Berufssparten – wie in der Bau-, Land-, und Hauswirtschaft oder auch in den Pflegeberufen - immer noch dominant sind und es wohl auch künftig sein werden. In den Vordergrund traten statt dessen zusehends mentale und psychische Anforderungen – ein Trend, der sich mit zunehmender Entwicklung des Informations- und Kommunikationszeitalters noch verstärken dürfte. Die modernen Arbeitsformen stellen hauptsächlich an die Aufmerksamkeit, das Gedächtnis, die mentale Konzentration, die Lernfähigkeit sowie an die Wahrnehmung und Reaktionsfähigkeit des Menschen erhöhte Anforderun-

gen. Es erstaunt daher nicht, dass immer mehr arbeitsbedingte psycho-mentale Krankheitszustände diagnostiziert werden wie etwa das Burn-out- oder das Chronic Fatigue-Syndrom. Tatsächlich lassen sich immer mehr Krankheitszustände mit psycho-mentalen Anforderungen im Beruf assoziieren; doch stimme ich mit Scheuch (1997) überein, der es für falsch hält die psycho-mentalen Anforderungen per se als krankmachend zu verteufeln. Denn der Mensch braucht immer wieder neue, erhöhte Anforderungen um zu lernen, um neue Verhaltensweisen und Einstellungen zu entwickeln. Unsere psycho-mentalen Leistungsgrenzen sind noch längst nicht ausgelotet und verschieben sich im Verlaufe unserer aktiven individuellen Lebenszeit, aber auch von Generation zu Generation durch vermehrte, frühe, schon im Kindesalter gestellte Anforderungen.

Immer mehr Arbeitnehmer klagen über andauernden beruflichen Stress und sehen darin eine Gefährdung für ihre Gesundheit (z.B. Marstedt et al 1993, CH-Stress Studie 2000). Zweifelsohne führt die informations- und kommunikations-technologische Revolution zu immer neuen, teils auch höheren psycho-mentalen Anforderungen und persönlichen Unsicherheiten und – bei andauernder Überforderung - auch zu vermehrten effektiven und potentiellen Gesundheitsgefährdungen bei den betroffenen Menschen. Die Erforschung der Zusammenhänge zwischen den Arbeitsanforderungen einerseits und den Gesundheitsgefährdungen andererseits sowie die aus den gewonnenen Erkenntnissen aufgebaute Prävention war und ist das Kerngebiet der Arbeitsmedizin. Die Erforschung der mit den modernen Arbeitsformen verbundenen psycho-mentalen Anforderungen stellt ein wichtiges Anliegen der aktuellen Arbeitsmedizin dar. Dabei geht es primär darum potentielle Gefährdungen zu erkennen, einzuschätzen und wirksame Präventivmassnahmen zu entwickeln. Eine wichtige Voraussetzung hierfür sind geeignete Parameter, die es ermöglichen, die individuelle psycho-mentale Arbeitsbelastung so zuverlässig wie möglich zu messen.

2.4 Die Atmung: ein Werkzeug

Wir atmen um Sauerstoff aufzunehmen und Kohlendioxid abzugeben; ein -- aus, ein - aus, unser ganzes Leben lang. Atmen ist absolut lebensnotwendig. Über die Atmung stehen wir auch in dauerndem Kontakt mit unserer Umwelt und nehmen aus der Luft ausser dem Sauerstoff auch Informationen sowie Stoffe auf.

Der Atem ist auch ein unabdingbares Werkzeug, indem er unsere Stimmbänder zum Klingen bringt und uns dadurch die wichtigste zwischenmenschliche Kommunikationsweise ermöglicht: das Sprechen und Singen. Asiatische Meditationstechniken setzen den Atem als Medium zur Kommunikation des Menschen mit seinem ‚inneren Selbst' ein oder um den jeweiligen mentalen Zustand zu verändern. Die Atmung ist eng mit unserer Gefühlswelt verknüpft. Dies zeigt sich u.a. darin, dass erlebte Gefühle häufig über den Atem ausgedrückt werden, was sich sprachlich niederschlägt in Wendungen wie: ‚es verschlug mir den Atem', ‚sein Atem geriet ins Stocken', ‚zu Atem kommen' oder auch ‚atemraubend'. In der Stummfilmzeit setzten die Schauspieler übertriebene Formen des Atmens ein um bestimmte Gefühle zum Ausdruck zu bringen. In unserem Erleben sind also Atmen und Fühlen eng miteinander verknüpft. So können wir uns durch tiefes langsames Atmen beruhigen und dadurch bewusst in unsere Emotionen eingreifen.

Wir sind fähig unseren Atmen willentlich zu steuern. Bei Perlentauchern wurde sogar beobachtet, dass sie im Stande sind ihren Atem um einiges länger anzuhalten, als dies unser physiologisches Verständnis wahrhaben will. Das bedeutet, dass die Atmung eine äusserst grosse Regulationsbreite aufweist, trotz ihrer Wichtigkeit für unseren Organismus. Doch nicht nur die Willenskraft, auch andere mentale Eigenschaften oder Vorgänge werden mit dem Atmen in Verbindung gebracht. So ‚hält uns etwas in Atem' oder ein anderer hat ‚einen langen Atem', also viel Durchhaltevermögen, Geduld.

Diese verschiedenen Funktionen des Atems spiegeln sich auch in den dabei sich abspielenden äusserst vielschichtigen Regulationsvorgängen wider:

den metabolischen und nervalen Regelkreisen sowie den Einflüssen des vegetativen Nervensystems und des Grosshirns auf den Rhythmusgenerator in der Medulla oblongata.

Bei der Atmung handelt es sich um das Organsystem, das zwar autonom geregelt wird, in das wir aber dennoch bewusst eingreifen können. Dazu Wientjes und Grossmann (1998): *It is precisely the close coupling between lower- and higher-order control aspects that makes the respiratory system appealing to those interested in the convergence of physiological and psychological processes*.

2.4.1 Forschungsziel dieser Studie

Da die Atmung offensichtlich ein fein abgestimmtes Instrument darstellt, so ist anzunehmen, dass uns das Atmen auch Aufschluss über unsere Reaktionen auf Umweltanforderungen gibt, sei es im stofflichen, aber auch im psycho-mentalen sowie im emotionalen Sinne. Das Ziel dieser Forschungsarbeit besteht darin, die psycho-mentalen Anforderungen und Beanspruchungen des arbeitenden Menschen mit Hilfe seines Atmens und seiner Atemantworten zu erkunden, zu beschreiben und letztlich besser zu verstehen. Dabei werden selbstverständlich die in der Literatur bereits dokumentierten Theorien und Forschungsergebnisse miteinbezogen, doch basiert diese Arbeit primär auf zahlreichen eigenen Experimenten, die spezifisch zu diesem Zwecke am Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich unter Mithilfe von Studenten, Diplomanden und Mitarbeitern entwickelt und durchgeführt wurden.

Es geht in dieser Arbeit um die Erforschung der momentanen Beanspruchung während mentaler Aufgaben im ‚Labor'. Ob dadurch Belastung im Sinne von ‚Stress' entsteht ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Der erste Teil der Arbeit umfasst einen kurzen Überblick über die Konzeption mentaler Arbeit, sowie der Atmung und über die, sie beeinflussenden Faktoren. Die erste Untersuchung befasst sich mit der Methodik und Validierung der Atem-

mustererfassung und zeigt recht eindrücklich die Schwierigkeiten und Grenzen der äusseren Atemmustererfassung. Aus diesen Erfahrungen heraus wurde eine Atemmustermessumgebung und Auswertung entwickelt, genannt RespiG. Das RespiG wird vorgestellt und alle folgenden Versuche wurden damit durchgeführt. Mentale Arbeit zeichnet sich einerseits durch kognitive Anforderungen, andererseits aber auch durch die motorischen Anforderungen der benötigten Handlung aus. Die Auswirkungen verschiedener kognitiver und/oder motorischer Anforderungen auf die motorische Anspannung, Atmung und auf die Herzrate wurde im Experiment 2 untersucht und mit den subjektiven Beanspruchungseinschätzungen verglichen. Die Umwelt wirkt dauernd auf uns ein. Die Auswirkungen eines Umweltstressors während mentaler Arbeit auf die Leistung und die Befindlichkeit der Arbeitenden ist das Thema des 3. Experimentes. Die letzte Untersuchung befasst sich mit den Auswirkungen induzierter Emotionen auf die subjektive Einschätzung in drei Emotionsdimensionen, sowie auf verschiedene physiologische Parameter. Jedes Experiment wird separat diskutiert. Im letzten Teil der vorliegenden Arbeit werden die Befunde in den Rahmen bestehender Konzepte und Theorien eingeordnet und interpretiert.

3 Stand des Wissens

Vorerst wird der heutige Wissenstand hinsichtlich der Beanspruchung durch mentale Arbeit und danach separat in Hinblick auf die Atmung dargelegt. Dies weil einerseits noch sehr wenige Studien die Beanspruchung durch mentale Arbeit über die Atmung zu erfassen versuchten, andererseits wäre es unmöglich, das gesamte Wissen über die Beanspruchung durch mentale Arbeit und deren Beeinflussung hier aufzurollen. Daher konzentriere ich mich, was die mentale Arbeit anbelangt, auf die heute geltenden Konzeptionen. Im Kapitel über die Atmung, insbesondere über deren Beeinflussung, wird der heutige Wissensstand so umfassend wie möglich dargelegt.

3.1 Beanspruchung durch mentale Arbeit

In den folgenden Ausführungen steht die Beanspruchung des Individuums durch mentale Arbeit im Vordergrund und nur am Rande dem häufig damit assoziierten Stress[1]. Es geht darum die Konzepte der mentalen Arbeit und deren Ablauf unter „normalen“ Bedingungen zu verstehen und wissenschaftlich darzulegen.

Zur Konkretisierung stellen wir uns eine mentale Aufgabe vor, etwa den Multi-Test, der in unseren Experimenten mehrmals zum Einsatz kam und sich aus drei verschiedenen Aufgaben zusammensetzt.

- Die erste Aufgabe besteht darin, mittels eines Stiftes auf der elektronischen Tischoberfläche einem sich auf der Bildschirmoberfläche bewegenden Punkt nachzufahren. Dabei sollte der Abstand zwischen dem Cursor und dem sich bewegenden Punkt möglichst klein sein.

[1] Gemäss ISO 10075: psychische Belastung (stress): Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von aussen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken. Psychische Beanspruchung (strain): zeitlich unmittelbare Auswirkung der psychischen Belastung auf die Einzelperson in Abhängigkeit von ihren eigenen habituellen und augenblicklichen Voraussetzungen einschliesslich der individuellen Auseinandersetzungsstrategien.

- Bei der zweiten Aufgabe handelt es sich um einen Gedächtnistest. In der Mitte des Bildschirmes leuchten in zufälliger Reihenfolge farbige Kreisflächen auf - z.B. rot, rot, grün, rot, blau. Unmittelbar nachdem eine vollständige Sequenz der drei Farben rot, grün und blau erschienen ist, muss eine Taste gedrückt werden.

- Die dritte Aufgabe ist ein peripherer Reaktionstest: In den vier Ecken des Bildschirmes drehen sich nicht vollständig geschlossene Kreise, einzeln und zufällig. Jedes Mal, wenn sich ein Kreis gedreht hat, muss eine Taste gedrückt werden (und zwar nicht dieselbe wie vorher).

Dieser Multitest ist eine recht anspruchsvolle mentale Aufgabe, gekoppelt mit einem motorischen Output. Dabei werden verschiedene kognitive oder sensumotorische Verrichtungen parallel reguliert, entweder streng gleichzeitig oder in kurzfristigem Wechsel. Derartige Überlappungen kognitiv-manueller, kognitiv-kognitiver und manuell-manueller Verrichtungen sind nicht die Ausnahme, sondern die Regel und werden als Mehrfachverrichtungen bezeichnet (Richter und Hacker 1998). Solche Aufgaben können die meisten Menschen unter normalen Umständen ohne grosse Probleme ausführen. Die einen erzielen bessere Resultate als die anderen, die Stabilität der Resultate einer Person ist erstaunlich hoch.

Nehmen wir nun an, die arbeitende Person hat eine durchwachte Nacht hinter sich. Dann wäre zu erwarten, dass sich ihre Leistung verschlechtert. Das kann, aber muss nicht der Fall sein. Womöglich „kneift sie sich in den Hintern“, das heisst, sie strengt sich mehr an um eine gleich gute Leistung zu erbringen – nämlich durch eine Aufwandsteigerung oder einen speziellen mentalen Effort. Der betreffenden Person steht es aber auch offen ihren Anspruch an die eigene Leistung herabzusetzen, was natürlich - infolge der Anspruchsniveau-Senkung - zu einer Verschlechterung ihrer Leistung führt. Ferner kann sie sich bei einer Mehrfachverrichtung dafür entscheiden eine der Verrichtungen nicht mehr zu erfüllen und sich statt dessen nur noch auf die anderen beiden zu konzentrieren. Damit ist die ursprüngliche Aufgabe neu definiert. Eine gestellte Aufgabe wird a priori vom die Aufgabe Übernehmenden neu definiert.

Das folgende Beispiel soll dies illustrieren. Ein einfacher Arbeiter, der sich an einer Untersuchung über Lösungsmitteleffekte beteiligte, konzentrierte sich, nachdem er den peripheren Reaktionstest begriffen hatte, nur noch auf diesen Test. Er liess das Tracking sowie den Gedächtnistest einfach ausser Acht, hatte also den Auftrag für sich neu definiert. Unter Umständen verändert die Person aber auch ihre Arbeitsweise; dies erleben wir, wenn eine Aufgabe neu erlernt wird. An diesen einfachen Beispielen wird deutlich, dass bei der Bewältigung einer Aufgabe oder Tätigkeit verschiedene Rückkoppelungen beteiligt sind. Um mentale Arbeit und ihre Auswirkungen verstehen und beschreiben zu können benötigen wir ein Konzept, dass diese Rückkoppelungen integriert.

3.1.1 ‚Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption

Diese klassische Ursachen-Wirkungs-Beziehung geht davon aus, dass objektiv erfassbare Belastungen aus Arbeitsaufgaben und Umgebungsbedingungen den arbeitenden Menschen individuell beanspruchen. Unter psychischer Beanspruchung ist das Inanspruchnehmen psychischer Leistungsressourcen beim Ausführen von Arbeitstätigkeiten zum Erfüllen von Arbeitsaufgaben zu verstehen. Dabei werden die Erfüllungsbedingungen, die individuellen antriebs- und ausführungsregulatorischen sowie die körperlichen Leistungsvoraussetzungen als gegeben vorausgesetzt. Die organistischen Ressourcen werden als unveränderlich angenommen und können daher überfordert oder unterfordert werden.

In diesem Konzept werden allerdings die vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen dem Individuum und seinem Auftrag unterschätzt. Dementsprechend ist es stets die re-definierte Aufgabe (Hackman und Oldham 1975), die Beanspruchungsfolgen hervorruft, wobei die Bewältigung über die regulativen Veränderungen in der Arbeitsweise erfolgt. Daher können objektiv gleiche Aufträge in Abhängigkeit von der gewählten Strategie zu unterschiedlichen Leistungen mit unterschiedlichen Beanspruchungen führen, vorausgesetzt dass die Ausführungsweise einen gewissen Spielraum zulässt. Aus unterschiedlichen Arbeitsweisen können aber auch gleiche Leistungen hervorgehen, die jedoch mit unterschiedlichen Beanspruchungen

verbunden sind. In der heutigen Theorie der Arbeitswissenschaften ist die eindimensionale Konzeption der Belastung-Beanspruchung überwunden (Rohmert 1984, Luczak 1993).

3.1.2 Auftrags-Auseinandersetzungskonzeption

Bei der Auftrags-Auseinandersetzungs-Konzeption handelt es sich insofern um eine Weiterentwicklung, als sie die Schwachstellen der Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption behebt, indem sie die aktive Auseinandersetzung mit dem Auftrag und die Stabilisierungsmöglichkeiten der Tätigkeitsregulation zur Bewältigung der Aufgabe mit einbezieht. Zudem konzentriert sich die Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption – im Gegensatz zur Auftrags-Auseinandersetzungskonzeption - auf die negativen Beanspruchungsfolgen und unterschätzt dabei die positiven Effekte. Hohe Anforderungen können nämlich gerade so gut Hinzulernen und Fitness wie Entmutigung oder Erschöpfung erzeugen, je nach den vorgegebenen Bedingungen, insbesondere den organisatorischen, sozialen und personellen Ressourcen (Karasek und Theorell, 1990, Kap.2). Im Sinne eines modernen Gesundheitsverständnisses ist die gesundheitsentwickelnde Rolle fördernder Aktivitäten zu berücksichtigen. Ohne Beanspruchung und nennenswerte Ermüdung entstehen nämlich gar keine Trainingseffekte!

Die Auftrags-Auseinandersetzungs-Konzeption analysiert die komplexen Veränderungen anlässlich der Auseinandersetzung des arbeitenden Menschen mit seinem Auftrag. Dabei berücksichtigt sie auch die Art und Weise der Auseinandersetzung - also das Erleben, Befinden und Verhalten des Arbeitenden - als wichtige Beanspruchungsindikatoren und findet dadurch einen angemesseneren Zugang zu den Folgen heutiger geistiger Arbeit (Büssing 1992, Hacker 1996). Die Auftrags-Auseinandersetzungs-Konzeption versucht die Beanspruchungsanzeichen im Erleben, beim Verhalten, bei der Leistung und in psychophysiologischen Abläufen zu erkennen und Verschiebungen im Geflecht der subjektiven und objektiven Daten zu interpretieren.

Kernpunkte der Auftrags-Auseinandersetzungs-Konzeption (nach Richter und Hacker 1998):

1. Beanspruchungsfolgen entstehen aus den Beziehungen zwischen

   - den Anforderungen des Auftrages und seinen Ausführungsbedingungen einerseits und den Leistungsvoraussetzungen des Arbeitenden andererseits sowie

   - dem zu übernehmenden Auftrag und den Zielen/Werten des Arbeitenden.

2. Veränderungen der Regulation sind abhängig von den emotionalen und kognitiven Bewertungen des Arbeitenden zu den unter Punkt 1 erwähnten Beziehungen.

3. Beanspruchungsfolgen entstehen in der Regulation von Tätigkeiten, verändern diese Regulation und äussern sich in ihr als einer aktiven, zielgerichteten Auseinandersetzung mit Aufträgen/Aufgaben.

4. Die Auseinandersetzung wird bei gegebenem Tätigkeitsspielraum beeinflusst durch die Arbeitsweisen, welche die Beanspruchungsentstehung mitbestimmen.

5. Die Auseinandersetzung mit der Aufgabe verläuft in einer zyklischen Abfolge von Destabilisierungen und Restabilisierungsbemühungen. Die Destabilisierung enthält einerseits beanspruchungsbedingt ablaufende reflektorische Anteile und andererseits zielgerichtete, zum Zwecke der Restabilisierung eingesetzte, kostenpflichtige Anteile.

6. Die aktiven Regulationsveränderungen zur Restabilisierung treten auf als:

   - Aufwandssteigerung durch Einbezug zusätzlicher Vorgänge: spezifischer Art (wie reaktive Anspannungssteigerung) oder durch unspezifische allgemeine Aktivierung

   - Zielverschiebung bzw. Anspruchsniveau-Änderung bis hin zum Ausweichen mit der möglichen Folge einer vergrösserten Ziel-Motiv-Diskrepanz

   - Änderungen in der Arbeitsweise

7. Die Regulationsveränderungen erfolgen in der Regel vorwegnehmend, d.h. als ziel-/aufwandsbezogene Vorausregulation und selten nur als Rückkoppelung.

Die aktiven Regulationsveränderungen zur Restabilisierung sind kostenpflichtig; das bedeutet, energetisch betrachtet bezahlt der Arbeitende sozu-

sagen einen Preis dafür. Wir müssen also diese „Kosten“ genauer anschauen und der Frage nachgehen, wie sie „bezahlt“ werden.

3.1.2.1 Mentale Kapazität

Um die erwähnten Kosten zu eruieren wurde der Versuch unternommen, psychische Beanspruchung als Ausmass der beanspruchten mentalen Kapazität oder der mentalen Ressourcen, also sog. Ressourcenvolumen-Konzepte oder Ressourcenallokations-Konzepte (Kahnemann 1973, Wieland-Eckelmann 1992) zu beschreiben. Diese Konzepte gehen davon aus, dass der Mensch über einen Satz voneinander relativ unabhängiger Verarbeitungsressourcen verfügt. Dabei hängt die Verarbeitung davon ab, ob eine bereits gebrauchte Ressource in Anspruch genommen wird oder ob eine bisher nicht in Anspruch genommene andere Ressource benötigt wird. Ferner ist zu berücksichtigen, ob die Inanspruchnahme nacheinander oder gleichzeitig erfolgt (Gopher und Donchin 1986, Wickens 1986, Welford 1978). Das praktische Vorgehen besteht darin, mittels der Doppeltätigkeitsmethode die von einer Aufgabe nicht benötigte mentale Kapazität empirisch zu ermitteln: Je mehr in einer zusätzlichen Tätigkeit bei gleichzeitigem Ausführen der Haupttätigkeit geleistet werden kann, desto geringer ist die psychische Beanspruchung durch die Haupttätigkeit. Dabei werden jedoch folgende Annahmen getroffen: Erstens die Verarbeitungskapazität sei begrenzt und aufgabenunabhängig. Zweitens nehme mit zunehmender Inanspruchnahme der Kapazität durch die Haupttätigkeit das Ausführungstempo oder die Leistung in der Zusatzaufgabe ab. Eine interessante Mängeldiskussion dazu findet sich bei Richter und Hacker (1998, Kap 3.3).

3.1.2.2 Relativität des Leistungsziels

Aus der Sicht des Arbeitenden sind Aufgabenziele primär von extern aufgezwungene Ziele, die ihn dazu nötigen sein Verhalten - meist über eine kurze Zeitperiode - auf das Erreichen eines Ziel-Outputs zu richten. Das setzt voraus, dass der Arbeitende kooperiert und dass er motiviert ist das vorgegebene Ziel zu internalisieren und aufrechtzuerhalten. Allerdings wird manchmal dabei vergessen, dass die Entscheidung eine kognitive Aufgabe zu erfüllen auf Kosten anderer Verhaltensmöglichkeiten geht (Hockey 1997). Lesen, Planen, Fernsehen oder biologische Bedürfnisse wie Essen, Trinken

oder Ausruhen stellen solche Möglichkeiten dar. Diese dürften persönlich relevanter sein als die von externer Seite vorgegebene Zielerfüllung. Da das Aushalten eines Efforts fordernden Zustandes in der Regel als schwierig und subjektiv aversiv empfunden wird (Kahnemann 1973), steht die Ausübung einer fordernden mentalen Aufgabe im Konflikt mit dem allgemeinen emotionalen Ziel das persönliche Wohlbefinden aufrechtzuerhalten. Im Gegensatz zum extern vorgegebenen Aufgabenziel, welches das Tätigkeitsverhalten bestimmt, wird das Aufrechterhalten des Wohlbefindens durch das mächtige, Selbsterhaltungs- Motivierungssystem bestimmt. Doch ist der Mensch bei der Erfüllung mentaler Aufgaben bezeichnenderweise hoch zuverlässig und resistent gegenüber Ablenkungen (Kahnemann 1973). Das bedeutet, dass das Aufrechterhalten des Aufgabenziels entsprechenden Schutz erfordert, Hockey (1997) nennt ihn: performance protection. Dieser Schutz muss kontinuierlich aktiviert werden um der drohenden Unterbrechung durch konkurrierende biologische und motivationale Ziele begegnen zu können.

3.1.2.3 Mentaler Effort

Wie oben dargestellt sind die Modelle geistiger Arbeit, wenn sie den biologischen Kontext des Verhaltens ausschliessen, nicht im Stande adäquate Erklärungen für die Beanspruchungsfolgen mentaler Arbeit zu liefern. Für die Theorieentwicklung über bio-physiologische Regulationsprozesse und deren Integration in die Verhaltenssteuerung ist die Erfassung des „biologischen Aufwandes“ erforderlich um die „Kosten“ der Tätigkeitsregulation in unterschiedlichen Situationen bewerten zu können. Dabei kommt der Erfassung emotionaler Prozesse bei der Interpretation von Zusammenhängen zwischen kognitiven Anforderungen und physiologischen Aktivierungsvorgängen sowie deren mittelbaren Auswirkungen auf das Verfolgen von Handlungszielen eine entscheidende Bedeutung zu (Hockey 1997).

Hockey (1997) geht von der Annahme aus, dass ein Ressourcen-Management-System existiert. Dieses verschiebt energetische Ressourcen, kontrolliert sie und setzt sie strategisch ein. Seinem Modell liegen folgende Annahmen zu Grunde:

1. Das Verhalten des Arbeitenden ist zielorientiert.

2. Bei der Kontrolle der Zielvorgaben handelt es sich um einen sich selbst regulierenden Prozess.

3. Die regulatorische Aktivität verursacht Kosten, die zu Lasten anderer Systeme gehen.

Hockey geht also wie andere Motivations-Kontroll-Modelle (Carver und Scheier 1982, Schönpflug 1983) davon aus, dass die Kontrolle einen selbst regulierenden Charakter aufweist, indem das Verhalten mit einem internen Standard verglichen und entsprechend modifiziert wird, so dass zweckdienliches Verhalten gefördert und das aktuelle Ziel aufrechterhalten werden kann.

Das Aufrechterhalten der Leistungs-Stabilität unter hohen Anforderungen stellt einen aktiven Prozess unter der Kontrolle des Individuums dar. Dieser Prozess erfordert die Mobilisierung kognitiver Ressourcen; mentaler Effort. Das Management des mentalen Efforts erlaubt dem Individuum die Effektivität seines Tätigkeitsverhaltens in Bezug auf konkurrierende Ziele zu kontrollieren, das bedeutet Anforderungen zu verändern und die Stufe der energetischen Ressourcen zu modulieren. Zudem ermöglicht es dem Individuum eine „Performance Protection“-Strategie anzunehmen um Aufgabenziele mit hoher Priorität aufrechtzuerhalten, indem es Extrakosten auf sich nimmt. Oder als zweite Möglichkeit eine Reduzierung der Leistung in Kauf zu nehmen, was ihm keine zusätzlichen Kosten abverlangt, aber nicht mehr im Einklang mit der ‚Performance Protection’ steht.

Hockey (1997) schlägt dafür zwei Kontrollschleifen vor: eine mit Routine assoziierte Regulation und eine auf Effort basierende, höhere Regulation. Die Routine-Regulation beinhaltet die automatische Kontrolle von gut erlernten Tätigkeiten als Funktion von etablierten Leistungs-Zielen. Üblicherweise wird angenommen, dass diese Ziele weder einer aktiven Regulation noch eines besonderen Efforts bedürfen. Auch wenn die Performance bei gut erlernten automatisierten Tätigkeiten durch interne und externe Ereignisse bedroht sein kann, so ist die Routinekontrolle normalerweise ausreichend um die Stabilität der Leistung zu garantieren. (Für weiterführende Diskussion sei auf Wickens 1986 verwiesen).

3.1.2.4 Effort-Regulation

Wie bereits erwähnt wird davon ausgegangen, dass die Routine-Regulation bei automatisierten kognitiven Tätigkeiten keine energetischen Kosten verursacht. Die zweite Kontrollschleife jedoch kommt dann zum Zuge, wenn die Diskrepanz zwischen inneren Zielvorgaben und erreichter Leistung zu gross ist, dass sie sich nicht durch Routine-Regulation beheben lässt.

Die zweite, höhere Regulation wird bei Hockey (1997) mit dem Effort-Management gleichgesetzt. Anders als bei Kahnemann (1973) wird der Effort nicht automatisch gesteigert um diese Diskrepanz zu beheben, sondern die Wahrnehmung der Belastung bewirkt ein temporäres Verlagern der Kontrolle auf ein höheres Kontrollzentrum (Supervisory controller), auf dem verschiedene Regulationsmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Ein gelegentliches Überschreiten der niedrigeren Marke signalisiert das Bedürfnis den Supervisor einzuschalten. Persistierendes Überschreiten dürfte jedoch dazu führen, dass die Marke höher gestellt wird, so dass die Routinekontrolle auf einem höheren Niveau einsetzt. Das Verhalten bleibt dabei höchst stabil und der Effort hält sich in den Reservegrenzen, auch wenn die allgemeine mentale Aktivität zunimmt. Hockey interpretiert dies als aktives Coping und setzt es dem „effort without distress“ (Frankenhäuser 1986) gleich. Aktives Coping beinhaltet eine Erweiterung des Arbeitsgedächtnisses, eine verstärkte Ausführungskontrolle (Baddeley 1986, Shallice and Burgess 1993) oder auch den Gebrauch von regel- bzw. wissensbasiertem Verhalten (Rasmussen 1986) und stellt bei ungeübter (ohne Routine) mentaler Arbeit wahrscheinlich die Regel dar. Entspricht der Regulationsschleife 2; passive Aufwandsteigerung in Abbildung 1.

Wenn die wahrgenommene Diskrepanz zwischen inneren Zielvorgabe und Leistung zu gross ist, als dass er sich durch geringfügige Anpassungen des Arbeitseffort-Budgets kompensieren liesse, so ergibt sich daraus ein schwerwiegenderes Problem.

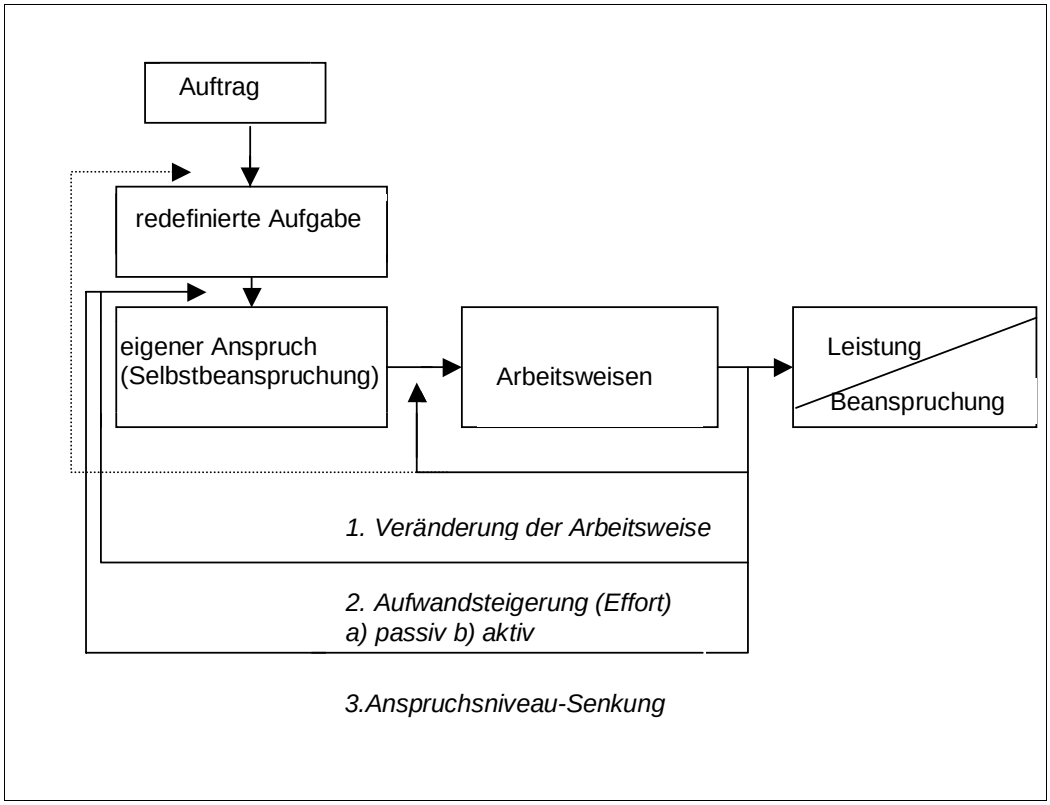


Abbildung 1:Tätigkeitsregulation unter Belastung, die Regulationen sind kursiv eingezeichnet (mod. nach Richter und Hacker 1998)

Bekanntlich wird das Verrichten von mentaler Arbeit unter hohem Effort z.B. unter hohem Zeitdruck, als unangenehm empfunden und daher, wenn möglich, vermieden (Wickens 1986). Um die Diskrepanz zwischen den zunehmenden Anforderungen und der oberen Grenze des Efforts zu beheben, stehen zwei Kontroll-Optionen zur Verfügung. Diese haben jedoch in Bezug auf die Aufgabenerfüllung und die energetischen Kosten unterschiedliche Konsequenzen. Die eine Kontroll-Option besteht darin, dass das maximale Effort-Budget erhöht werden kann um die neuen Anforderungen zu erfüllen. Die Zielvorgabe wird somit erfüllt, doch sind dabei zunehmend höhere energetische Kosten in Kauf zu nehmen. Dies entspricht Frankenhäuser's (1986) „effort with distress"-Coping-Muster und ist mit einer hohen Ausprägung der Sympathikus-Dominanz sowie mit der Ausschüttung von Katecholaminen

und Cortisol verbunden. Dies entspricht in Abbildung 1 der Regulationsstufe 2 und nämlich der aktiven Aufwandsteigerung.

Solch ein Zustand ist eindeutig aversiv, auch wenn er - falls er nur kurze Zeit aufrecht erhalten wird - normalerweise keine Bedrohung für das betreffende Individuum darstellt. Die Alternative zu einer Erhöhung des Effort-Budgets stellt das passive Coping dar, bei dem die Leistungszielvorgabe nach unten korrigiert wird (Anspruchsniveau-Senkung). Das Maximum des Effort-Budgets wird belassen und die ohnehin schon erheblichen Kosten werden nicht zusätzlich erhöht; doch wird der Schutz der Zielvorgabe aufgegeben. Eine extreme Form dieses Verhaltens äussert sich im konsequenten Nicht-Engagement bei der Verfolgung von Aufgaben-Zielen.

3.1.3 Erfassung der Beanspruchung

Performance Messungen sollten nicht nur die Effektivität, sondern auch die Effizienz des Verhaltens aufzeigen (Schönpflug 1983). Meist wird nämlich nur die Qualität spezifischer, unter bestimmten Bedingungen erreichter Leistungen gemessen, während die Kosten, unter denen diese Leistungen erbracht wurden, unberücksichtigt bleiben. Dies führt uns zur Frage, wie denn nun die Kosten zu messen sind.

Der arbeitende Mensch kann in der Regel für jede seiner Tätigkeiten den zu deren Ausführung erforderlichen Grad an psychischer Anspannung artikulieren. Dies führte zur Entwicklung verschiedener vom Tätigen auszufüllenden Skalen (Hankins und Wilson 1998, Hart und Hauser 1987, Lindquist et al 1983, Veltman und Gaillard 1998). Versteht man unter Aufmerksamkeit den jeweiligen Intensitäts- oder Aktivierungsgrad psychischer Vorgänge, so kann die erlebte psychische Anspannung, die auch als „Allgemeine zentrale Aktiviertheit“ (AZA) bezeichnet wird, mit Aufmerksamkeit oder – nach Hockey (1997) - mit Effort gleichgesetzt werden. Operational wird die AZA wie folgt eruiert: Sie wird auf Grund von Angaben über die innere Angespanntheit sowie anhand desjenigen Anteils an Änderungen der Herzfrequenz gemessen, der von muskulären, körpertemperaturregulatorischen und sonstwie störenden Kreislaufreaktionen bereinigt ist (Bartenwerfer 1969, S 201). Dies beruht darauf, dass die intervallskalierte psychische Anspannung annähernd

linear mit der - von Anteilen aus Muskelarbeit, Körperhaltung und Temperaturregulation bereinigten - Herzfrequenz des Zustandes nach Abklingen eines Anfangsanstieges kovariiert. Die auf diese Weise ermittelte psychische Anspannung ist als Aussage über die Beanspruchung in jedem Fall von den aktuellen und habituellen Leistungsvoraussetzungen des Arbeitenden abhängig.

Die erlebbare Intensitätskomponente aller psychischen Vorgänge und Zustände wird hypothetisch zu Vorgängen im zentralen Nervensystem in Beziehung gebracht, die sich nicht nur in Durchblutungs- und Erregungsprozessen in der Grosshirnrinde (PET- oder EEG-Messungen), sondern auch in neurovegetativ regulierten Vorgängen wie der Herzfrequenz oder dem Blutdruck niederschlagen (Birbaumer und Schmidt 1996). Aktivierungszustände des zentralen Nervensystems hängen von der - vorwiegend durch das auf- und absteigende retikuläre Aktivierungssystem - vermittelten Stimulierung aus der Umwelt ab, aber auch von Rückmeldungen über Körperbewegungen sowie von kortikal ausgelöster Selbstaktivierung.

Wie aus den vorhergehenden Ausführungen ersichtlich ist, muss für eine zutreffende Einschätzung der Gesamtbeanspruchung nicht nur die physische, mentale (kognitive) und emotionale Beanspruchung erfasst werden, sondern insbesondere sind auch die motivationalen Voraussetzungen des Arbeitenden zu berücksichtigen. Auf der Grundlage von Metaanalysen hat Boucsein (1991) häufig verwendete biochemische und physiologische Parameter den oben erwähnten Aspekten zugeordnet. Daraus wird deutlich, dass es den idealen Indikator für mentale oder emotionale Belastung nicht gibt und keiner der vorgestellten physiologischen Parameter erfasst die motivationale Komponente. Vielmehr ist - je nach Fragestellung - eine Kombination von Parametern zu wählen und mit Leistungs- und Verhaltensdaten sowie mit Befindlichkeitsvariablen zu kombinieren.

Im Bereich der mittleren Aktiviertheit ist in der Regel ein monotoner Zusammenhang zwischen tonischen Aktivierungsmerkmalen und dem Leistungsniveau festzustellen. Nach einem Anpassungsprozess werden Aufwand und Leistung aufeinander abgestimmt und treten in ein stabiles, effektives Ver-

hältnis zueinander (vgl. dazu die Konvergenzregel nach Tent 1968). Arbeitende mit stärkerer Aktiviertheit (die sich in einer höheren Herz- oder Atemfrequenz niederschlägt) erreichen eine höhere Handlungsgeschwindigkeit und -genauigkeit. Wie jedoch Untersuchungen bei extremen Aktivitätszuständen zeigen, gelten diese Relationen nur für den mittleren Bereich. Dieses Phänomen ist unter der Bezeichnung inverse U-Funktion oder als Yerkes and Dodson-Regel (Yerkes und Dodson 1908) zwischen Aktiviertheit und Leistung bekannt. Mittels Variation von - bei der Informationsverarbeitung - wesentlichen Merkmalen versuchte Easterbrook (1959) diese Beziehung zu erklären. Bei niedriger Aktiviertheit überwiegt eine erniedrigte Merkmalselektion, das heisst auch irrelevante Merkmale wurden hier berücksichtigt. Im mittleren Aktivierungsbereich wurden die relevanten Merkmale optimal herausgelesen, was zu einer Leistungssteigerung führte. Bei einer weiteren Aktivierungssteigerung wurden relevante Merkmale nicht mehr selektiert, worauf sich die Tätigkeitsstruktur aufzulösen begann. Daraus ist ersichtlich, dass für eine spezifische Tätigkeit ein Optimum an Aktivierung existiert. Dieses Optimum ist anforderungsspezifisch, weshalb die Bewertung psychophysiologischer Daten eine differenzierte Aufgaben- und Anforderungsanalyse voraussetzt.

Um mentale Beanspruchung bewerten zu können müssen theoretisch folgende Daten erhoben werden:

- Differenzierte Aufgaben- und Anforderungsanalyse (als Prozess verstanden)
- Adäquater Leistungsparameter
- Subjektiver Befindungsparameter
- Physiologische Parameter (ev. Kombination)
- Verhaltensindikatoren
- Erholungsindikatoren

3.2 Belastungen in der Arbeitswelt

In der Arbeitswelt sind wir verschiedenen Belastungen ausgesetzt. Die Belastungen können aus der Arbeit selber, der Arbeitsaufgabe und der Arbeitsrolle resultieren. Ein plausibles Beispiel ist die Belastung, die wir verspüren, wenn wir bis zum folgenden Tag eine Vielzahl von Aufgaben erledigt haben müssen. Aber auch unklare oder widersprüchliche Anweisungen können zu einer Belastung führen. Belastungen lassen sich auch unserer sozialen und materiellen Umgebung zuordnen. Ausserdem ergeben sich öfter auch Belastungen aus dem sogenannten Personen-System. Darunter subsumiert man etwa einen ineffizienten Handlungsstil oder fehlende Eignung, aber auch familiäre Konflikte oder mangelnde Unterstützung. Da eine weiterführende Auseinandersetzung mit der Fülle von Belastungsfaktoren in der Arbeitswelt nur am Rande Thema dieser Arbeit ist, sei hier in Anlehnung an Richter und Hacker (1998) aufgeführt, wie wir mit Belastungen umgehen:

Wir machen eine erste Abschätzung, ob Belastungen aus der Umwelt oder aus Arbeitsanforderungen unsere Verhaltensstabilität in Frage stellen (primary appraisal). Je nach unseren Persönlichkeitsmerkmalen und Copingstrategien werden die Möglichkeiten zur erfolgreichen Beherrschung der Situation abgeschätzt (secondary appraisal) und umgesetzt. Das erfolgreiche Umgehen mit der Situation wird danach wieder neu bewertet (reappraisal). Lazarus & Launier (1981) unterscheiden zwischen instrumentellen und palliativen Copingstrategien. Bei den ersteren handelt es sich um problemlösende kognitive Prozesse gezielter Informationssuche von Bewältigungsmöglichkeiten, direkten Aktionen gegen die Bedrohung oder Unterlassung von Handlungen, die Gefährdung verstärken könnten. Unter palliativen Bewältigungsformen werden Emotionsregulationen verstanden, die eine vorübergehende Entlastung der Bedrohung ermöglichen, ohne die Ursache zu verändern: Psychopharmaka, Alkoholkonsum, Entspannungsübungen, kognitive Umbewertungen, Verneinung, Bagatellisierung.

3.2.1 Reaktionsgrundlage von Umweltreizen

Wir arbeiten in einer auf uns einwirkenden Umwelt. Dieses Umfeld kann sich völlig oder auch nur teilweise verändern und wir reagieren auf diese Ände-

rungen. Beliebige Umweltfaktoren - wie Lärm, grelles Licht oder Gerüche - können zu Belastungsfaktoren werden und modifizieren als solche unsere Leistung wie auch unsere Beanspruchung. Wer hat nicht schon erlebt, wie plötzlicher Lärm stören und konzentriertes Arbeiten verunmöglichen kann. Leistungsveränderungen durch oder unter dem Einfluss von Umweltstressoren werden entweder durch eine Steigerung der zentralen Aktivierung (arousal) durch den Stressor oder durch Ablenkung erklärt (Loeb 1986, Hockey 1997). Das Konzept der gesteigerten zentralen Aktivierung kann zu Sharpless und Jasper (1956), Malmo (1959) und Duffy (1962) zurückverfolgt werden. Diese nahmen an, dass die Aktivierung abhängig ist vom sensorischen Input sowie vom Grad der momentanen Tätigkeit und dass ein Aktivierungs-Optimum besteht, unter oder über dem die Leistung abnimmt (vergl. Yerkes-Dodson law). Dieses Konzept wurde z.B. von Degel und Köster (1999) herangezogen um zu begründen warum unter dem erregenden Duft die Leistung abnahm und unter dem beruhigenden Duft die Leistung verbessert wurde. Die Ablenkungshypothese nimmt an, dass Umweltstimuli eine psychophysiologische Antwort auszulösen vermögen. Diese Reiz-Antwort sei mit den Aufgabenanforderungen inkompatibel und degradieren damit die Leistung. Die Reaktionsgrundlage dafür bilden angeborene Orientierungs- und Schreckreaktionen, die eine Abwehrreaktion nach sich ziehen können. Da primäre Gefühle meist mit dem Drang zum Überleben verbunden sind, müssen sie in die cardio-pulmonale Regulation eingebunden sein (Porges 1994) und werden daher auch mittels der ausgelösten cardio-pulmonalen Modulation beschrieben.

Broadbent (1979) argumentiert, dass kontinuierliche, nicht neue Stimuli nicht ablenken können. Das Ablenkungskonzept basiert auf der Reiz-Neuheit, das Konzept der Aktivierung über ein Optimum auf kontinuierliche Reizeinwirkung.

3.2.1.1 Orientierung

Sokolov (1963) und Lacey (1967) verstanden die Orientierungsreaktion konzeptionell als Antwort auf einen neuen Umgebungsreiz, welche die Wahrnehmungsschwelle für externe Reize beeinflusst, indem sie die Verarbeitung externer Information erleichtert. Am besten beschrieben ist das Verhalten

des Herzens, das sich an der Herzrate (HR) oder Herzfrequenz ablesen lässt. Der Vorgang des Sich-Orientierens ist gekennzeichnet durch eine unmittelbar einsetzende Abnahme der HR (Dezeleration), die sich jedoch schnell wieder normalisiert. Der zeitliche Verlauf dieser HR-Abnahme, die Auswirkungen neuraler Blockaden sowie entsprechende Studien an klinischen Subpopulationen bestätigen die Annahme, dass die Orientierungsantwort neurogen vermittelt wird. Erstens erfolgt die HR-Abnahme unmittelbar; das Geschehen spielt sich in wenigen Sekunden ab und die HR erreicht üblicherweise gleich wieder die vorangegangenen Werte. Zweitens ist die Latenzcharakteristik von 40-200ms ähnlich oder gleich wie bei anderen nerval vermittelten bradykardischen (HR-senkenden) Reflexen. Studien über Nervenblockierungen zeigten, dass die Abnahme der HR bei der Orientierungsantwort durch cholinerge Fasern des Nervus Vagus (X-Hirnnerv) vermittelt wird (Berntson et al 1994, Obrist 1981). Porges (1994) formulierte die Hypothese, die HR-Abnahme bei der Orientierungsantwort erfolge durch eine Wegnahme der vagalen Efferenzen aus dem Nucleus ambigus, so dass die vagalen Efferenzen aus dem zweiten Vaguskern (nucleus dorsalis) dominieren würden; diese sind bekannt für ihren bradycarden Effekt.

Der Anteil der Atmung an der Orientierungsantwort ist zwar bis anhin noch nicht so gründlich untersucht und dokumentiert worden wie der Herzanteil, einzelne Studien dazu liegen jedoch vor. Barry (1982) beschrieb die Orientierungsantwort als gestopptes Atmen und zeigte auf, dass respiratorische Pausen (phasische Unterbrechung der Atmung) gute Indikatoren für die Neuigkeit eines Reizes darstellen, nicht aber für deren Intensität oder Bedeutung. Andere Forscher sehen in der respiratorischen Komponente der Orientierungsantwort eine Abnahme der Atmungsrate (RR) oder eine initiale Atmungspause, gefolgt von einer Abnahme der RR sowie der Amplitude, also des Volumens (Porges und Raskin 1969).

Die Definition der Orientierungsreaktion als Antwort auf eine Veränderung der Stimulation beinhaltet, dass eine wiederholte Reizapplikation durch denselben Reiz zu einer graduellen Abnahme der Reizantwort führen sollte (Sokolov 1963). Doch ist nicht auszuschliessen, dass unter bestimmten Bedingungen eine sogenannte Stimulus- Reinstallation erfolgt, was bedeutet, dass

derselbe Reiz auch bei wiederholter Applikation dieselbe Antwort auslöst und demzufolge nicht habituiert.

3.2.1.2 Die Schreckreaktion (startle)

Kurze intensive und abrupt präsentierte Reize (z.B. ein Knall) erzeugen eine Zunahme der HR (Akzeleration) mit einer kurzen Latenzzeit. Unerwartete intensive oder aversive Reize bewirken eine Umschaltung bei der Einatmung. Zur Illustration: Blatz (1925) plazierte seine Versuchpersonen auf einen Stuhl, der - für die betreffende Person unerwartet - plötzlich nach hinten kippte. Unmittelbar danach verlängerte sich bei der Versuchsperson die Einatmungszeit, während die Atmungsrate (RR) abnahm. Erfolgte das Kippen des Stuhls während einer Ausatmungsphase, so wurde die Ausatmung abrupt beendet und schnell wieder Luft eingeatmet. Dasselbe Muster wurde auch bei Lärm als Reiz (durch sog. weisses Rauschen) festgestellt (Harver und Kotses 1987): Die Analyse der nachfolgenden Atmungszyklen deckte eine vorübergehende Zunahme der RR und des Atemzugvolumens auf. Plötzliches Kühlen empfindlicher Körperflächen induzierte ebenfalls eine unmittelbar einsetzende vorübergehende Einatmungs-Umschaltung, gefolgt von einer Zunahme der RR sowie einer Vertiefung der Atmung (Keating und Nadel 1965, Metjavic und Mitarbeiter 1987). Wie die Orientierungsantwort ist auch die Schreckantwort gekennzeichnet durch eine plötzliche kardiopulmonale Reaktion von kurzer Dauer. Auf die Schreckreaktion kann aber auch eine längere Reaktion folgen, die kardial wie pulmonal eine Akzeleration beinhaltet. Diese Komponente mit langer Latenzzeit ist als Abwehrreaktion zu interpretieren.

3.2.1.3 Die Abwehrreaktion

Gemäss Lang (1997) umfasst die Abwehrreaktion eine Sequenz von Reaktionen mit einer initialen Phase (z.B. Schreck), in der die aversiv motivierten Aufmerksamkeitsfaktoren dominieren, gefolgt von einer Spätphase, in der die aversiv motivierten Schutzreaktionen vorherrschen. In der Literatur wird teils nur zwischen Orientierungs- und Abwehrantwort unterschieden - wobei die erste Schreckphase mit einbezogen wird – teils jedoch zwischen Orientierung-, Schreck- und Abwehrreaktion.

Die klassische Unterscheidung zwischen Orientierungs- und Abwehrreaktion basiert auf einer Intensitäts-Empfindlichkeits-Umschaltung der HR-Antwort von der Dekzeleration zur Akzeleration. Zudem sollte die späte Akzeleration nicht habituieren, sondern bei Reizwiederholungen immer empfindlicher reagieren (Vila et al. 1997). Die späte Akzeleration im kardiopulmonalen System stimmt einerseits überein mit dem traditionellen Verständnis der Abwehrreaktion als einer Abkehr vom Reiz hin zur Schutzreaktion (Sokolov 1963), andererseits aber auch mit der Induktion der sogenannten „fight or flight"-Reaktion, wie wir sie aus Tierversuchen kennen (Turpin 1986).

Die Auswirkungen der Reizenergie auf das automatische Antworten stellt einen wichtigen Fokus der psychophysiologischen Forschung dar, seitdem Sokolov (1963) sowie Graham und Clifton (1966) in ihren Studien eine Unterscheidung zwischen Orientierungs-, Schreck- und Abwehrreaktionen vornahmen. Tabelle 1 vermittelt einen Überblick über diese Reaktionen, ihre Charakteristika sowie ihre Auslöser.

	1. Phase		**2. Phase**
Name	**Orientierung**	**Schreck**	**Abwehr**
Latenzzeit	Millisekunden	Millisekunden	Sekunden
Gewöhnung	Ja	Ja	nein
Vermittlung	neural (N.vagus)	neural	neural und humoral
Reiz	Neuheit, Intensität moderat-	Neuheit, Anschwellzeit kurz, Intensität hoch	Intensität und Signifikanz
Funktion	Informationsverarbeitung	Unterbruch (withdrawl)	Schutz- und Alarmreaktion
Auswirkung			
Herz	Dezeleration	Akzeleration	Akzeleration
Atmung	Atemdepression	Einatmungsumschaltung mit nachfolgender kurzer Dezeleration oder Apnoe	Akzeleration

Tabelle 1: Charakterisierung der Orientierung-, Schreck- und Abwehrreaktion

Die Zuordnung der hohen Reizenergie und der kurzen Anschwellzeit zur Schreckreaktion wurde aber auch von gewissen Forschern in Frage gestellt.

Diese wiesen nach, dass akzelerative HR-Antworten auch durch Reize mit langsamer Anschwellzeit (über 30ms) und mittleren Intensitäten (< 80dB) ausgelöst werden können (Turpin und Siddle 1983). Diese Daten implizieren, dass Schreckantworten auch durch eine breitere Reizpalette ausgelöst werden können, wie Graham (1979) vorgeschlagen hat. Die evidenten Resultate direkter Messungen des Schreck-Blink-Reflexes (Augen-Startle) bestätigen das Vorhandensein einer breiten Reizpalette (Blumenthal 1988 und Blumenthlal et al. 1991). So konnte Turpin et al (1999) in einer Studie - die zum Ziel hatte zwischen Orientierung-, Schreck- und Abwehrreaktion zu differenzieren - nachweisen, dass derselbe Reiz im Stande ist sowohl eine Orientierungs- als auch eine Schreckreaktion auszulösen. Die Verkürzung der Reiz-Anschwellzeit löste jedoch - gemessen an der HR - eher eine Schreckreaktion aus, und die Versuchspersonen reagierten auch mit einer entsprechenden Verhaltensänderung.

Unsere Forschungsarbeit favorisiert das Konzept, dass Orientierungs- und Schreckantwort ein Equivalent zum Engagement bzw. Nicht-Engagement darstellen und über die Aufmerksamkeit erfolgen (Turpin et al. 1999). Orientierung lenkt die Aufmerksamkeit auf den neuen oder wichtigen Reiz, Schreck hingegen bewirkt eine vollständige Abwendung der Aufmerksamkeit von der gerade aktuellen Tätigkeit, also eine Unterbrechung durch einen schnellen oder unerwarteten Reiz, gefolgt von wiederkehrendem Engagement oder aber von Vermeidung und Flucht (fight or flight), in Abhängigkeit von der Natur des auslösenden Stimulus sowie der Situation des betroffenen Individuums. Das Augenmerk richtet sich hier auf Orientierung und Schreck in der ersten Reaktionsphase. Hier zeigt sich, dass dieselben Reize einmal das eine und einmal das andere auslösen können. Ob nun aber auf eine Orientierungs- oder Schreckreaktion eine Abwehrreaktion folgt, ist abhängig von der Stimulusintensität, der Stimulus-Signifikanz sowie von der Situation und dem Zustand des Individuums.

3.3 Die Atmung

Will man die subjektive Beanspruchung durch mentale Arbeit messen, so braucht man einen physiologischen Indikator, der auch im Stande ist emotionale und verhaltensassoziierte Faktoren abzubilden. Die Atmung ist durch eine grosse Regulationsbreite gekennzeichnet; zudem können wir den Atem auch willentlich für eine beschränkte Dauer anhalten und trotzdem weiterleben. Ein robuster physiologischer Parameter wie z.B. die Herzrate verfügt keineswegs über eine derart grosse Regulationsbreite.
Ausserdem lässt sich die Ventilation auf zwei verschiedene Arten modulieren: über zeitliche Faktoren sowie über Volumenfaktoren. Somit kann eine Steigerung der Ventilation durch eine Volumenerhöhung oder durch eine Zeitverkürzung bedingt sein.
Stellen wir uns zur Veranschaulichung der Atemmodulation folgende Situation vor: Es ist Mitternacht und Sie befinden sich allein in einem Parkhaus. Da hören Sie ein plötzliches, undefinierbares Geräusch. Höchstwahrscheinlich werden Sie zunächst scharf und kurz einatmen und den Atem kurz anhalten. Doch wie Sie danach weiter atmen, hängt sehr stark von Ihrem Verhalten und Ihrer emotionalen Reaktion ab.

A. Stellt sich nun bei Ihnen die Angst ein – wie bei jedem „normalen“ Sterblichen, der für solche Situationen kaum gewappnet ist -, so sind Sie sogleich innerlich aufgeregt, beginnen unmittelbar schnell und oberflächlich zu atmen und steigern insgesamt ihre Ventilation – und damit auch ihren erregten Zustand.

B. Sind Sie jedoch zufällig ein ausgebildeter Kämpfer oder sonstwie für im Umgang mit solchen Situationen trainiert, so fühlen Sie sich dieser Lage gewachsen, haben Ihre Angst im Griff und bleiben innerlich ruhiger. Sie beginnen langsam zu atmen, kontrolllieren ihren Atem und steigern ebenfalls ihre Ventilation, jedoch auf eine völlig andere Weise als der „normale Sterbliche“. Durch diese langsame, tiefe Atmung halten Sie Ihre Erregung (arousal) in Schranken, da Sie bewusst oder intuitiv wissen, dass

Ihre Leistung abnimmt - und Ihre Reaktionsfähigkeit somit eingeschränkt ist -, wenn Sie es zulassen, dass Ihre Erregung ein bestimmtes Mass überschreitet (inverse U-Kurve oder Yerkes-Dodsen law).

Die Atmung spiegelt also nicht nur den Grad unserer Aktivierung, sondern auch unser Verhalten, unsere emotionale Reaktion. Über die Atmung können wir nämlich bewusst oder unbewusst in die Abläufe in unserem Organismus eingreifen.

3.3.1 Regulation der Atmung

Die Atembewegungen werden von rhythmisch tätigen Neuronengruppen in der Medulla oblongata gesteuert. Während die inspiratorischen Neuronen bei der Inspiration und der frühen Exspiration aktiv sind, entladen sich die exspiratorischen Neuronen bei der Exspiration. Die rhythmische Aktivität beruht auf einer komplexen Verschaltung dieser medullären Atemneuronen, die daher in ihrer gemeinsam Funktion als Rhythmusgenerator bezeichnet werden. Die gegenseitige Hemmung und Förderung der Neuronen ist für die Rhythmogenese ebenso wichtig wie die tonische (nicht atemrhythmische) Aktivierung aus der Formatio reticularis, die durch spezifische und unspezifische Afferenzen aus der Körperperipherie moduliert wird. Die zentralen respiratorischen Neuronen werden durch die drei folgenden Hauptafferenzen beeinflusst:

- Informationen durch arterielle Chemorezeptoren
- Informationen durch Skelettmuskulatur und Gelenke (somatische Afferenzen)
- Informationen durch Lungen- und Atemwegsrezeptoren

Bekanntlich können respiratorische Afferenzen die Neuronen im Vorderhirn aktivieren und zerebrale Efferenzen die respiratorische neurale Aktivität verändern. Doch ist die Kenntnis darüber, wie diese Verbindungen letztlich zu Stande kommen, zur Zeit noch sehr bruchstückhaft.

3.3.1.1 Chemische Atemanreize

Eine Modulation der alveolären Ventilation verändert die Werte des Sauerstoff- (pO2) und des Kohlendioxidpartialdruckes (pCO2) sowie des pH im Blut. Umgekehrt wirken sich Veränderungen der arteriellen Blutgase und des arteriellen pH auch auf die respiratorischen Neuronen in der Medulla oblongata aus und beeinflussen dadurch die Atmung.

Wird die CO2-Konzentration in der Atemluft erhöht, so nimmt das Atemminutenvolumen zu, vornehmlich durch einen Anstieg des Atemzugvolumens bedingt. Die Beziehung zwischen dem arteriellen pCO2 und dem Atemminutenvolumen wird CO2-Antwortkurve der Atmung genannt. Die CO2-Antwortkurve zeigt, dass die Ventilation bei Zunahme des arteriellen pCO2 um das 8-10fache gesteigert werden kann. Danach fällt die Kurve wieder ab, bedingt durch den sedierenden Effekt des hohen pCO2.
Sinkt der arterielle pH-Wert unter seinen Normalwert (7.4), so bewirkt dies ebenfalls eine Atmungssteigerung; übersteigt er jedoch diesen Wert, so vermindert sich die Ventilation entsprechend. Wird die pH-Senkung durch Zugabe oder durch vermehrte Bildung von H+ erzeugt, so ist der Atemantrieb relativ gering, da die schon geringfügig gesteigerte Ventilation den arteriellen pCO2 senkt, was die H+ Konzentration stabilisiert und zudem atemhemmend wirkt.

Auch O2-Verarmung treibt die Ventilation an. Jedoch führt erst eine starke Erniedrigung des arteriellen pO2 zu einer deutlicher Steigerung der Ventilation. Auch hier bewirkt die durch Hypoxie bedingte Ventilationssteigerung eine Senkung des arteriellen pCO2, so dass die O2-Antwortkurve einen Kompromiss zwischen dem hypoxischen Atemantrieb und der hypokapnischen (pCO2↓) Atembremse darstellt.

Von den drei chemischen Atemreizen - CO2, H+ und O2 – zeigt sich beim CO2 die weitaus stärkste Wirkung. Daher sind bei Störungen der Lungenfunktion kaum Veränderungen des arteriellen pCO2 zu finden, die pathologischen Veränderungen betreffen hauptsächlich den arteriellen pO2.

Dieser Zusammenhang erklärt, warum die CO2-Rückatmung häufig als Stimulus bei Untersuchungen der Ventilation eingesetzt wird. Die Zunahme der Minutenventilation durch CO2 beruht nach Haldane et al (1919) fast ausschliesslich auf einem vergrösserten Atemzugvolumen (Vt). Bei CO2-stimulierter Atmung setzt der Mensch beim Ausatmen zusätzlich die abdominalen Bauchmuskeln ein (Grassino et al 1981, Lopato et al 1983). Dadurch verkleinert sich das end-exspiratorische Volumen und es wird postuliert, dass dies die Arbeit des Zwerchfells optimiert. Yan et al (1996) konstatierten, dass die individuelle Steigerung des Atemzugvolumens auf Grund der CO2-Stimulation vor allem eine Funktion des end-exspiratorischen Volumens des Brustkorbkompartimentes (RC) darstellt. Die Veränderung des end-exspiratorischen Volumens des Abdomenkompartimentes (AB) dagegen wies eine geringe intersubjektive Variabilität auf und zeigte bei allen Probanden einen signifikanten negativen Zusammenhang mit dem CO2-Stimulus, was bereits von Konno und Mead (1967) postuliert worden war. Die individuelle Atemzugantwort auf CO2 scheint reproduzierbar zu sein (Yan et al 1996, Hey et al 1966); allerdings wurden nur bei einer sehr geringen Anzahl Probanden Wiederholungen durchgeführt. Das metabolische Kontrollsystem erweist sich als der wesentliche Stimulus der Ventilation (von Euler 1986). So konnten mentale Stimuli bei einem deutlich erhöhten CO2-Gehalt der Einatmungsluft keinen Einfluss mehr auf die Frequenz der Atmung ausüben, während dieselben Stimuli beim Einatmen von normaler Luft durchaus eine Wirkung zeigten. Leider wurde im Rahmen dieser aufschlussreichen Untersuchung nur die Atemfrequenz bestimmt (Morgan und Cameron 1984).

3.3.1.2 Lungenafferenzen

Beim narkotisierten Tier hemmt die Dehnung der Lungen die Zwerchfellaktivität, die Ent-Dehnung hingegen fördert diese Aktivität. Dieser sog. Breuer-Hering-Reflex wird von langsam adaptierenden Dehnungsrezeptoren in der Wand der grösseren Atemwege ausgelöst. Die afferenten Bahnen verlaufen im N.Vagus. Bei der Normalatmung ist dieser Reflex kaum von Bedeutung, bei vermehrter Atmung jedoch scheint er die Atemtiefe zu begrenzen. Die

Lungendehnungsrezeptoren führen auch zu reflektorischer Erweiterung der Bronchien und stimulieren die Herzaktivität.

Ein Zusammenziehen der Lunge (Deflation) führt zu einer erhöhten Atemfrequenz. An diesem Reflex sind schnell adaptierende Rezeptoren in der Schleimhaut des Bronchialbaumes beteiligt. Da sie durch schleimhautreizende Gase und Stäube erregt werden, nennt man sie Irritationsrezeptoren; sie verursachen eine Bronchokonstriktion. Schnell adaptierende Rezeptoren in der Trachealwand lösen den Hustenreflex aus.

Die J-Rezeptoren kommen in den kleinen Atemwegen sowie in den Alveolarbläschen vor und werden durch Flüssigkeitsansammlungen in der Alveolarwand sowie durch eine Reihe von Mediatorsubstanzen (Histamin, Bradykinin, Prostaglandine) erregt. Starke Erregung dieser Rezeptoren führt zu einer Apnoe (Atemstillstand), Senkung der Herzfrequenz und des arteriellen Blutdruckes, Konstriktion des Kehlkopfes sowie zu einer Minderung der Skelettmuskelaktivität durch Hemmung der a-Motoneuronen.

Die Muskelspindeln der Atemmuskulatur leiten ihre Signale nicht nur zu den spinalen Motoneuronen, sondern auch zu den medullären respiratorischen Neuronen. Auf diese Weise passt sich die Tätigkeit der Atemmuskeln an die Widerstände von Lunge und Brustkorb an.

3.3.1.3 Phasen-Koppelung

Bei rhythmischen Bewegungen (z.B. beim Gehen) können enge Interaktionen zwischen der Atembewegung und der motorischen Bewegung zu Stande kommen. Die engste bekannte Kopplung –nämlich im Verhältnis 1:1 - zeigt sich bei galoppierendenTieren. Beim Zweibeiner scheint das Training eine zentrale Rolle zu spielen. So wiesen trainierte Läufer eine Koppelung im Verhältnis 2:1 auf (Bramble und Carrier 1983), bei unerfahrenen Läufern hingegen zeigte sich keine Tendenz zur Phasenkopplung. Die Wahrscheinlichkeit einer Koppelung zwischen der Atmung und der Pedalfrequenz lässt sich stark erhöhen, indem die Versuchsperson ihre Pedalfrequenz frei wählen kann (Jasinkas et al 1980). Bei unerfahrenen Versuchspersonen verunmöglicht eine vorgegebene Pedalfrequenz jegliche Koppelung. Eine hochgradige Koppelung führt beim Laufen oder Velofahren zu einer Verbesse-

rung der Leistung, da Koppeln den Sauerstoffverbrauch reduziert. An der Phasenkoppelung dürften zwei Mechanismen beteiligt sein, wobei der eine (nämlich der Aufprall der Abdominalmasse auf das Zwerchfell) passiv abläuft, während der andere eine neurale Vermittlerfunktion ausübt (Skelettmuskelafferenzen). Die Koppelung wird durch eine Interaktion zwischen den spinalen Bewegungsgeneratoren und dem medullären Rythmusgenerator bewerkstelligt (Viala 1997).

3.3.1.4 Höhere Hirnzentren

Obwohl bei einem Funktionsausfall der höheren Hirnzentren der Grundrhythmus der Atmung und die chemische Atmungsregulation fortbestehen, üben diese Zentren einen wichtigen modulierenden Einfluss auf die Atmung aus. Bekanntlich können Atemreize durch das hypothalamische Schaltzentrum der Temperaturregulation, über Schmerzrezeptoren oder eine bestimmte Emotionslage ausgelöst werden. Wie die Vermittlung zwischen Cortex oder Thalamus und den respiratorischen Neuronen vor sich geht, ist zur Zeit noch weitgehend ungeklärt (für weiterführende Literatur siehe: Dempsey and Pack: Regulation of breathing 1995).

Die Atmung lässt sich von bisher nicht näher bekannten Feldern des Cortex aus willkürlich verändern, z.B. durch Sprechen, Singen, Husten oder durch willkürliches Anhalten des Atems. Diese willkürliche Beeinflussung der Atemmuskeln erfolgt stets bilateral: Die neuronalen Verbindungen verlaufen in der Pyramidenbahn und ziehen sich unter Umgehung des Rhythmusgenerators direkt auf die spinalen Atemmuskel-Motoneuronen.

Schon bei normaler Atmung zeigt sich beim Atemzugvolumen und bei der Frequenz eine erhebliche Variabilität. Hält man sich die vielen möglichen Kontroll- und Steuermechanismen der Atmung vor Augen, welche meist als Feedback-Mechanismen wirken, so ist dies nicht erstaunlich. Diese Feedback-Schleifen erfassen Zeitperioden von Sekunden (N. Vagus) bis zu mehreren Tagen (Hormone), doch alle beeinflussen die augenblickliche Erregung der Atemmuskelnerven. Dass die Leistung eines so hochgradig sensiblen Systems eine beträchtliche Variabilität aufweist, versteht sich von selbst. Die geringste Variabilität zeigt sich bei der Atmung im tiefen Non-REM-

Schlaf oder unter Vollnarkose. Je wacher aber der Mensch, desto variabler erscheint sein Atem. Bruce und Daubenspeck (1995) verstehen die Atmung als dynamische Homeostase. Sie stellen die Hypothese auf, dass sich der gesunde physiologische Zustand durch eine komplexe Variabilität der Atmung kennzeichne. Ein gesunder Organismus sei auch eher fähig, mit den sich immer wieder verändernden Umweltbedingungen umzugehen und diese auch als veränderte Variabilität abzubilden.

3.3.2 Einflüsse auf die Ventilation und das Atemmuster

3.3.2.1 Der Einfluss körperlicher Arbeit auf Ventilation und Atemmuster

Dass körperliche Arbeit die Ventilation steigert, ist offensichtlich. Bei leichter Arbeit und gleich bleibender Frequenz (RR) wird nur das Atemzugvolumen erhöht (Vt), bei schwerer Arbeit jedoch werden Vt und RR erhöht. Das Atmen durch ein Mundstück verändert das Atemmuster – insbesondere, wenn die Versuchsperson überhaupt nicht oder nur leicht arbeitet, indem die Minutenventilation durch ein vergrössertes Vt und bei einer meist verlängerten Ttot, d.h. bei verkleinerter RR, zusätzlich erhöht wird (Peak and McCool 1992, Bloch et al 1995, Gilbert et al 1972).

Anhand von Messungen an Versuchpersonen, während diese verschiedene körperliche Aktivitäten ausübten - wie Velofahren, Hebetätigkeiten wie Gewichtheben und Ziehen von Lasten mit verschiedenen Intensitäten - wurde festgestellt, dass die Minutenventilation mit steigender Arbeitsschwere vor allem über eine Steigerung des Vt zunahm. Während der Hebetätigkeit zeigte sich bei gleichem Atemminutenvolumen gegenüber den anderen Tätigkeiten eine viel grössere Variabilität von Vt und Ti sowie des end-exspiratorischen Lungenvolumens. Daraus schliessen Paek und McCool (1992), dass verschiedene körperliche Aufgaben unterschiedliche Atemmuster erzeugen.

Bei Velofahren mit niedriger Arbeitslast nimmt das end-exspiratorische-Lungenvolumen ab, während sich das Atemzugvolumen proportional dazu erhöht (Sharrat et al 1987, Lind und Hesser 1984, Younes and Kivinen 1984,

Babb und Rodarte 1991). Allerdings sind hier erhebliche individuelle Unterschiede festzustellen.

Werden die Einatmungsmuskeln z.B. durch Atmung gegen einen Widerstand ermüdet, wirkt sich das nicht auf das Atemmuster in Ruhe aus. Bei grosser Arbeitsbelastung (75% von Wmax) wurde f signifikant mehr gesteigert als ohne induzierte Müdigkeit (Mador und Acevedo 1991). Die Müdigkeit hat keinen Einfluss auf das Atemzugvolumen. Es resultierte ein schnelles aber nicht oberflächliches Atmen, das heisst der Einatmungsantrieb wurde unter Müdigkeit mehr gesteigert. Das würde bedeuten, dass die Anpassung der Atmung an grosse Arbeitsbelastungen eingeschränkt ist bei induzierter Müdigkeit der Einatmungsmuskeln.

3.3.3 Umwelteinflüsse, Stressoren

Die grundlegenden Atmungskorrelate der Schreck- und Orientierungsreaktion sind schon im Kapitel 3.2.1 beschrieben worden. Mador und Tobin 1991 untersuchten die Auswirkungen visueller und auditiver Stimulierung (beim Fernsehen) sowie „schädlicher“ visueller Stimulierung (Starren in ein grelles Licht) auf die Atmung. Letzteres erhöhte die Minutenventilation (Vmin) über 30%, während beim Fernsehen lediglich eine Tendenz zur Erhöhung der Vmin festgestellt wurde. Diese Tendenz liess sich ausschliesslich auf eine erhöhte Respirationsrate (RR) zurückführen, das Inspirationsvolumen (Vi) hingegen blieb dabei gleich oder nahm sogar ab. Die Zunahme der Vmin durch grelles Licht wurde durch eine Erhöhung von Vi und RR verursacht. Unter beiden Bedingungen nahm der Inhalationsfluss (Vi/Ti) zu. Zusätzlich wurde die Variabilität der Atmungsparameter untersucht. Insbesondere während der Stimulation mit grellem Licht erhöhte sich die Variabilität ausgesprochen stark, wobei Vi variabler reagierte als Ti.

Bei verschieden ausgeprägter vestibulärer Stimulation (Schiffsbewegung) (Bles et al 1988, zit. nach Wientjes 1992) traten hohe intra-individuelle Zusammenhänge zwischen dem Grad der Seekrankheit, der Ängstlichkeit und dem pCO2 zu Tage. Je „seekranker“ die Matrosen waren, desto stärker hyperventilierten sie. Dieser Befund konnte im Labor bestätigt werden (Bles

und Wientjes 1988 zit. nach Wientjes 1992). Hyperventilation, also die Steigerung der Ventilation über den adäquaten metabolischen Bedarf hinaus, könnte einen Indikator der Stressoreinwirkung auf ein Individuum darstellen, vermutet Wientjes (1992).

Eine erwähnenswerte Untersuchung Gallego et al (1991) anhand von Hör-Reizen ergab, dass die Reaktionszeit auf einen Hör-Reiz bei spontaner Atmung kürzer war als bei kontrollierter Atmung. Zudem zeigte sich dabei kein Bezug zum Zeitpunkt, an dem der Reiz erfolgte. Während der kontrollierten Atmung (mit vorgegebenem Rhythmus) verlängerte sich die Reaktionszeit und erreichte genau dann ihre maximale Länge, wenn der Reiz genau in die Übergansphase zwischen Ausatmung und Einatmung fiel.

Als potenter Umweltsensor ist die Nase im Stande Umweltchemikalien bereits bei sehr geringer Konzentration wahrzunehmen und als angenehm oder unangenehm zu kategorisieren. In der Literatur sind in Bezug auf Atmung und Gerüche zwei verschiedene Forschungslinien zu unterscheiden. Der erste Ansatz sucht primär nach einem objektiven Mass für die Geruchswahrnehmung, indem Atemveränderungen zu der wahrgenommenen Geruchsintensität in Beziehung gesetzt werden (von Gerhard und Rauh 1963, Guidziol und Gramoski 1987). Der zweite Ansatz geht davon aus, dass die Atmung kurz nach einem Geruchsreiz eine olfaktorielle und / oder eine trigeminale Stimulation representiert. Die meisten Gerüche werden jedoch von beiden Nerven wahrgenommen: vom N. olfaktorius, dem eigentlichen Riechnerv sowie vom N. Trigeminus, der bei Gerüchen v.a. den schleimhautreizenden Anteil wahrzunehmen vermag. Gewisse Gerüche werden vorwiegend vom N. Trigeminus, andere wiederum eher olfaktoriell registiert.

Dunn et al (1982) und später auch Shustermann und Balmes (1997) stellten nach einer abrupt präsentierten, stark irritierenden CO2-Konzentration eine vorübergehende Reflexapnoe fest. Die Autoren schlossen daraus, dass die Atmung - jedenfalls für Stimuli, die eine wahrnehmbare nasale Irritation verursachen - ein zuverlässiges Wahrnehmungs-Korrelat darstelle. Dieses Resultat kann aber auch dahingehend interpretiert werden, dass der schnell präsentierte, starke Riechstimulus eine Schreckreaktion zu bewirken ver-

mag, die eine unmittelbare Umschaltung der Einatmung auslöst, gefolgt von einer kurzfristigen Atempause (Apnoe). (Blatz 1925, Harver und Kotses 1987, Boiten et al 1994). Olfaktormeter-basierte Untersuchungen (Walker 1990, Warren 1992, Warren 1994, Walker et al 2001) zeigten auf, dass Atemveränderungen bereits im ersten Atemzug nach einem schwachen bis moderaten Geruchsstimulus sichtbar werden. Generell lassen sich die Veränderungen im ersten Atemzug nach dem Geruchsreiz folgendermassen beschreiben: Die Tiefe des Atemzuges wird reduziert (Vi nimmt ab) oder der Inhalationsfluss (Vi/Ti) nimmt ab. Die Latenzzeit dieser Abnahme beträgt nach dem Bericht zwischen 180 und 400 Millisekunden - ist also sehr kurz. Die Inhallationsdauer(Ti) wurde erst bei Geruchskonzentrationen verändert, die eine deutliche Nasenreizung verursachen. Diese Geruchsantwort stimmt weitgehend mit der Orientierungsatemantwort überein. Die respiratorische Komponente der Orientierungsantwort besteht in einer Reduktion der Atmungsrate oder der Frequenz (RR), die einher geht mit einer Reduktion der Amplitude (Vi), was insgesamt zu einer Reduktion des Inhalationsflusses führt. Die Reduktion von Vi/Ti oder zumindest von Vi im ersten Atemzug nach einem Geruchstimulus wird hier als Orientierungsantwort interpretiert. Die Abnahme von Ti nach irritierenden Geruchskonzentrationen (Walker et al 2001) impliziert, dass in der Atmung zusätzlich die spezifische Aktivierung des N. Trigeminus sichtbar wird. Mit Ausnahme einer Untersuchung (Walker et al 1997) – bei der es um die Auswirkungen von Passiv-Rauch auf das Atemmuster geht -, sind keine Untersuchungen von chemischen Umweltstimuli, die länger dauernde Atemmusterveränderungen bewirken, bekannt. Darum werden im Experiment „Einfluss von Gerüchen auf die Atmung und Leistung“ nicht nur kurzzeitige Atemantworten untersucht, sondern auch länger andauernde Atemanpassungen. Das Experiment wurde entworfen um einerseits durchschnittliche Atemwerte anlässlich einer zwei-minütigen Exposition durch verschiedene Gerüche zu untersuchen, andererseits aber auch um kurze, vorübergehende Atemantworten auf den Geruchsstimulus zu analysieren und zwar im Ruhezustand sowie bei mentaler Arbeit.

Der Einfluss von Gerüchen auf das Verhalten und die mentale Leistung von Menschen ist ein Phänomen, das sich einer breiten Akzeptanz erfreut, ob-

wohl bis anhin überzeugende wissenschaftliche Beweise dafür ausstehen. Fünfjährige Kinder erbrachten bei einem kognitiven Test in einem Raum mit und einem andern Raum ohne Geruch (Epple und Herz 1999) dieselbe Leistung. Gilbert et al (1997) untersuchten die Auswirkungen von Gerüchen auf die Leistung und die Stimmung erwachsener Versuchspersonen; auch sie konnten keinerlei Einflüsse eruieren. Hingegen verursachte die blosse Suggestion von Gerüchen bei einem Zahl-Streichungs-Test eine signifikante, geschlechtsabhängige Interaktion. Knasko (1993) untersuchte die Auswirkungen von intermittierenden Geruchsstössen auf die mentale Leistung. Auch er konnte keinen Effekt auf die Leistung nachweisen - auch wenn jene Versuchspersonen, die unangenehmen Gerüchen ausgesetzt worden waren, im Nachhinein meinten, diese Gerüche hätten einen negativen Einfluss auf ihre Leistung und ihre Stimmung ausgeübt. Nur Degel und Köster (1999) konnten nachweisen, dass Gerüche u.U. doch im Stande sind mentale Leistungen zu beeinflussen: Bei ihren Probanden nahm die mentale Leistung in einem Raum mit schwachem Lavendelgeruch zu, in einem Raum mit Jasmingeruch jedoch ab. Studien über die Auswirkungen von Gerüchen auf die mentale Leistung unter gleichzeitiger Berücksichtigung physiologischer Parameter konnten hingegen keine gefunden werden.

3.3.4 Mentale Arbeit

Verschiedene Untersuchungen befassten sich mit den Auswirkungen mentaler Arbeit auf das Atemmuster. Dabei wurden v.a. mentale arithmetische Aufgaben und Reaktionsaufgaben gestellt und deren Einfluss auf das Atemmuster unter verschiedenen Bedingungen - wie Grad der Aufgabenschwierigkeit (Svebak 1982, Caroll et al 1986), Elektroschockdrohung (Allen et al 1986, Sherwood et al 1986) oder Geldbelohnung (bonus) (Turner und Caroll 1985, Allen und Crowell 1989) – untersucht. Die frühen Untersuchungen zeigten, dass beim Ausführen mentaler Arithmetik eine flache Atmung vorherrscht, mit nur marginaler Zunahme in RR (Suter 1912, Skaggs 1930). Konzentrierte sensorische Aufmerksamkeit bewirkte eine Abnahme in der Tiefe der Atmung und in der Atemvariabilität – womöglich um Ablenkungen und irreguläre Atembewegungen zu unterdrücken, die mit den Aufgabenzielen interferieren könnten (Suter 1912, Woodworth 1938, Kagan und Rosman

1964). Gesteigerte Aufgabenschwierigkeit kovariiert mit einer Zunahme in RR sowie mit einer signifikanten Zunahme auf einer Erregungsskala (Arousal) (Caroll et al. 1986). Auch Schnore (1959) demonstrierte, dass eine verstärkte Erregung zu einer Zunahme der RR führt: Je erregter wir sind, desto schneller atmen wir. Verschiedene Studien haben aufgezeigt, dass stressvolle Laboraufgaben eine schnelle Atmung induzieren, die meistens mit einer Abnahme des Atemzugvolumens verbunden ist. Das bedeutet, bei mentalen Aufgaben, die mit Stress verbunden sind, wird schneller und oberflächlicher geatmet (Allen et al 1986, Carroll et al 1987, Langer et al 1985, Svebak 1982, Turner und Carroll 1985, Turner et al 1983, Wientjes et al 1998, Boiten 1993). Da die Zunahme der Frequenz dominiert, nimmt die Minutenventilation entsprechend zu.

Zur Illustration sei hier die Untersuchung von Wientjes et al (1998) genauer beschrieben. Nach einer Ruhephase mussten die Versuchspersonen unter drei gegebenen Voraussetzungen einen Gedächtnis-Vergleichstest lösen. Die ersten beiden Voraussetzungen unterschieden sich nur darin, dass Feed-back den Probanden einmal gegeben und einmal vorenthalten wurde. Die dritte Voraussetzung, die jeweils erst am Schluss folgte, bestand darin, dass den Versuchspersonen einen Geldbonus offeriert wurde, falls sie eine bessere Leistung erzielen sollten als unter den beiden vorangegangenen Voraussetzungen. Die Minutenventilation nahm unter allen drei Voraussetzungen zu und zwar in der Reihenfolge: ohne Feedback, mit Feedback, mit Bonus. Gleichzeitig nahm die RR unter allen drei Voraussetzungen zu, wobei sich jedoch zwischen den verschiedenen Bedingungen keinen Unterschied feststellen liess. Die Atemtiefe (Vi) nahm beim Test ohne Feed-back ab, bei den Testen mit Feed-back und mit dem in Aussicht gestellten Bonus hingegen war die Atemtiefe gleich wie unter im Ruhezustand. Der Inhalationsfluss kovariierte weitgehend mit der Minutenventilation, ferner wurde eine leichte Hyperventilation induziert.

Boiten (1993) machte verschiedene experimentelle Aufgaben zum Gegenstand seiner Untersuchung. Dazu gehörten: mentale Arithmetik, eine Reaktionsübung, eine Entspannungsübung sowie vier körperliche Übungen, abgestuft nach Schwierigkeitsgrad. Beim Ausführen der körperlichen Übungen

nahm die Dauer des Atmungszyklus (Ttot) ab, gekoppelt mit einer zunehmenden Atmungstiefe und eines verkürzten Ti. Bei den beiden mentalen Aufgaben (Reaktionstest / Konzentration und Arithmetik) nahm das Vi etwas ab, vor allem aber wurde die Inspirationszeit Ti verkürzt. Bei der mentalen Arithmetik war die Abnahme von Ti gekoppelt an eine Zunahme der Ausatmungszeit (Te), was eine sägezahnähnliche Atmungskurve ergab. Die Reaktionsaufgabe / Konzentrationsaufgabe verringerte - im Gegensatz zur arithmetischen Aufgabe - auch die Ausatmungszeit Te, was bei der arithmetischen Aufgabe zu einer eher sinusförmigen Atemkurve führte. Die Zunahme von Te bei mentaler Arithmetik wird mit der internen Vokalisation in Zusammenhang gebracht.

Generell ist festzuhalten, dass konzentrierte Aufmerksamkeit zu einer beschleunigten Atmung führt, insbesondere wird Ti verkürzt und der Inhalationsfluss nimmt - bei gleich bleibendem oder abnehmendem Vi - zu. Spezielle mentale Aufgaben wie mentale Arithmetik zeigen zusätzlich auch Auswirkungen auf die Ausatmungszeit, wahrscheinlich verknüpft mit internem Sprechen. Die meisten untersuchten mentalen Aufgaben sind Reaktions-, Gedächtnis- und Rechenaufgaben auf unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen und unter verschiedenen Rahmenbedingungen. Es ist aber zu bedenken, dass sozusagen alle mentalen Aufgaben eine motorische Umsetzung nach sich ziehen: Es kommt am Arbeitsplatz selten vor, dass wir nur denken, ohne unsere Gedanken auch umzusetzten. Auch Überwachungsarbeit führt zu einer motorischen Umsetzung: Wenn ein Lämpchen blinkt, muss ein Schalter gedrückt werden. Die Auswirkungen von Aufgaben mit verschiedenen motorischen und kognitiven Anteilen auf die Atmung wurden bisher nicht untersucht. Im Experiment „Physiologische Veränderungen durch Aufgaben mit verschiedenen kognitiven und motorischen Anteilen“ wird dieser Fragestellung daher erstmals nachgegangen. Zusätzlich wird die muskuläre Aktivierung von Aufgaben-irrelevanter Muskulatur erfasst, da Zusammenhange zwischen Atmung und muskulären Symptomen postuliert wurden (Carayon et al 1999).

3.3.5 Emotionen

Emotionen werden im Allgemeinen mit Motivation und Verhalten assoziiert (Frijda 1986). Emotionale Reize können Zustände hoher fokussierter Aufmerksamkeit auslösen. Wie im Kapitel 3.1 über die Beanspruchung durch mentale Arbeit bereits erläutert wurde, lauten also die Schlüsselbegriffe für das Verständnis der mentalen Arbeit und ihrer Regulation: Motivation und Verhalten.

Die Frage, wie Emotionen die Atmung beeinflussen können, ist im Verlauf des letzten Jahrhunderts immer wieder aufgegriffen worden, und trotzdem ist auf diesem Gebiet bis heute noch manches unklar geblieben. Dies rührt wohl nicht zuletzt auch daher, dass völlig verschiedene psychophysiologische Konzeptionen über Emotionen vorliegen. Ein entscheidender Grund dafür ist jedoch sicher auch darin zu sehen, dass im Labor „hergestellte" Gefühle stets von aussen induzierte Gefühle darstellen, die sich wahrscheinlich leichter unterdrücken oder kontrollieren lassen als eigene, spontane Gefühle. Eine übersichtliche und ausführliche Darstellung der Gefühle und Atemmuster findet sich bei Boiten et al (1994). In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die wichtigsten Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Formen des Atmens einerseits und den entsprechenden Gefühlen sowie den mentalen Einflüssen andererseits kurz dargelegt.

Atemantwort	**Assoziierte emotionale und mentale Einflüsse**	**Referenz**
Schnelles und tiefes Atmen **RR ↑, Vt ↑**	Gesteigerte Bereitschaft zum Handeln in einem positiven oder negativen Sinn Zustände gesteigerter Aufregung, Angst, Ärger und Freude Hypnotische Suggestion oder vorgestellte körperliche Tätigkeit	 Woodworth, Schlosberg 1955 Ax 1953 Morgan 1985 Gallego et al 1996
Schnelles und oberflächliches Atmen **RR ↑, Vt ↓,** **(meist + Vi/Ti ↑)**	Bereitschaft zum Handeln, mit einem gewissen Grad an inhibitorischer Kontrolle, Konzentrierte Aufmerksamkeit Variationen in der Tiefe der Atmung bei schnellem Atmen korrespondieren mit verschiedenen Punkten auf einem Inhibition-Exzitations-Kontinuum Mit Stress verbundene mentale Aufgabe	 Wientjes 1993 Boiten et al 1994 Allen et al 1986 Carroll et al 1987 Sims et al 1988 Wientjes 1993 Boiten 1993

	Angespannter Affekt Angespannte oder ängstliche Vorwegnahme oder Erwartung	Lehmann 1914 Skaggs 1930 Stevenson, Ripley 1952
Langsames und tiefes Atmen **RR ↓, Vt ↑**	Entspannte Ruhephasen (slow-wave-Schlaf, Entspannung) Aufgeregter positiver Affekt	Grossman 1983 Wientjes 1993, Boiten 1993 Rehwoldt 1911
Langsames und oberflächliches Atmen **RR ↓, Vt ↓,** **+ Vi/Ti ↓,**	Passiver Gram Ruhiges Glück Entspannungszustand Wegwendung von der Umwelt, Passivität	Averill 1969 Nakamura 1984 Boiten et al 1994
Brustkorb- und Abdomen-Atmung **%Rc / %Ab**	Rc ↑: Unangenehmer Affekt, Angespanntheit oder Ängstlichkeit Ab ↑: Angenehmer Affekt, Entspannung	Ancoli, Kamiya 1979 Ancoli et al 1980 Svebak 1975
Irreguläres Atmen	Emotionale Bestürzung, Erregung, schädliche Umwelteinflüsse	Stevenson, Ripley 1952 Santibanez, Bloch 1986 Mador,Tobin 1991

Tabelle 2: Übersicht über Atemantworten in Bezug auf Emotionen und mentale Arbeit. Vt = Atemzugvolumen, RR = Atemrate, Vi/Ti = Inspirationsfluss, % Rc = Prozentualer Anteil des Brustkobes am gesamten Atemzugsvolumen (%Rc +%Ab = Vt).

Gefühle sind eng mit der Atmung verknüpft. In der Alltagssprache verwenden wir viele Ausdrücke, die auf diesen Bezug verweisen. Beispiele dafür sind: atemberaubend, den Atem verschlagen, in Atem halten, Aufatmen, tief Durchatmen. Dies führte zur Annahme, dass sich die verschiedenen Gefühle durch spezifische Atemmuster kennzeichnen würden. Auf dieser Vorstellung basierten bereits die Arbeitshypothesen früherer psychophysiologischer Studien (Feleky 1914, Rehwoldt 1911). In den späten 80er Jahren wurde diese Hypothese wieder aufgegriffen (Santibanez und Bloch 1986 und Bloch et al 1991). Tabelle 2 vermittelt einen Überblick über die verschiedenen Studien und ihre Befunde in Bezug auf die Auswirkungen von Gefühlen auf die Atemparameter.

Nur zwei der aufgelistetet Studien untersuchten die Auswirkungen spezifischer Gefühle auf die Atmung in systematischer Form. Eine davon stammt von Feleky (1914). Dieser bat die Versuchspersonen sich an sechs primäre Emotionen (Freude, Schmerz, Wut, Wunder, Angst und Abscheu) zu erinnern, wobei er das Inspirations-Expirationsverhältnis, die Tiefe der Atmung und Vt/Ttot (die Atemtiefe geteilt durch die Dauer des Atemzuges) (‚Amount

of respiratory work') analysierte. Alle Parameter differenzierten klar zwischen den verschiedenen erinnerten Gefühlen. Leider konnte diese Untersuchung später nie reproduziert werden (Boiten et al 1994). Eine mögliche Erklärung dafür dürfte darin liegen, dass die Versuchpersonen stereotype Antwortmuster produzierten. Santibanez und Bloch (1986) beobachteten an ihren Probanden spezifische Atemantworten, während diese in sich bestimmte Gefühle in Erinnerung riefen, insbesondere Freude/Lachen, Trauern/Weinen, Angst, Ärger, erotische Erregung und Zärtlichkeit. Mit Ausnahme der Zärtlichkeit lösten alle Gefühlserinnerungen unregelmässige Atemmuster aus. Die erotische Erregung z.B charakterisierte sich anfänglich durch eine Abnahme der RR, gefolgt von einer Zunahme der RR sowie der Tiefe der Atmung. In einer nachfolgenden Untersuchung wurden junge Schauspieler gebeten diese sechs gefühlsspezifischen Atemmuster sozusagen nachzuatmen und dabei jeweils den entsprechenden Gesichtsausdruck und die dazu passende Körperstellung zu mimen. Auf die Anfangsphase, in der Atmung und Gesichtausdruck der Schauspieler etwas roboterhaft ausfielen, folgte eine spontane und natürliche Vokalisation und Gestik. Gemäss Bloch et al. (1991) ist dies so zu deuten, dass das Nachstellen der Atmung und der betreffenden Gestik in den Versuchspersonen jeweils das entsprechende Gefühl induzierte, doch leider wurden diese Probanden dabei nicht nach ihren persönlich erlebten Gefühlen befragt.

Die faszinierende Konzeption, dass spezifische Atemmuster korrespondierende Gefühle wachrufen, wurde vom französischen Autor Artaud in „Le Theatre et son double" (1964) entworfen. Leider kann die oben beschriebene Versuchsanordnung dies nicht wissenschaftlich untermauern.

Ax (1953) studierte die Auswirkungen von Angst und Ärger auf das Atemmuster und kam dabei auf folgenden Befund: Die RR nahm bei Angst stärker zu als bei Ärger, hingegen zeigte sich in der Atemtiefe kein Unterschied. Schachter (1957) beobachtete allerdings eine starke Zunahme der RR bei Angst und bei Ärger, wogegen Schmerz nur eine geringfügige RR-Zunahme auslöste.

Aus den erwähnten Abhandlungen wird ersichtlich, dass bis heute medizinisch nicht nachgewiesen werden konnte, ob spezifische Gefühle tatsächlich eine spezifische Atemantwort auslösen. Schnelles tiefes Atmen scheint offensichtlich mit Aufregung (Excitement) verbunden zu sein (Lehmann 1914, Rehwoldt 1911, Woodworth 1938). Aufregung kann als ein Aspekt verschiedener Gefühle auftreten, z.B. bei Angst, Ärger und Freude. Diese Gefühle müssen aber nicht zwangsläufig Aufregung induzieren, Freude kann auch still erlebt und Aufgeregtheit auch ohne spezifische Gefühle empfunden werden. Aufregung ist gelegentlich mit einer grösseren Handlungsbereitschaft verknüpft und in diesem Fall als eine Art Vorbereitung zu einer ‚fight and flight'-Reaktion zu verstehen (Boiten et al 1994). Dudley (1964) argumentierte, dass jegliche Veränderung der Ventilation primär im Zusammenhang mit Aktion bzw. Nicht-Aktion stehe. Obwohl verschiedentlich zwischen Erregung (arousal), Aufregung (excitement) und Aktiviertheit unterschieden wird, soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit Erregung (arousal) der Aktiviertheit (zentral sowie peripher) gleichgesetzt werden.

Schnelles und oberflächliches Atmen stellt sich v.a. in Situationen ein, in denen eine inhibitorische Kontrolle ausgeübt wird und die einen hohen Grad an Aufmerksamkeit erfordern. Dabei ist die Inspirationsrate (Vi/Ti) meist hoch, d.h. es ist ein hoher Atmungsdrive vorhanden. Dieses Atemmuster zeigt sich auch bei Angespanntheit, ängstlichem Vorgefühl oder bei Erwartung (Skaggs 1930, Stevenson und Ripley 1952), ferner wenn eine Versuchsperson einem unangenehmen Gefühl widerstehen will (Lehmann 1914). Schnelles oberflächliches Atmen scheint mit Situationen verknüpft zu sein, die Aufmerksamkeit, Angespanntheit oder Kontrolle beinhalten. Boiten (1993) ist der Ansicht, dass Variationen der Atmungstiefe bei schnellem Atmen mit einem Kontinuum zwischen Inhibition und Exitation korrespondieren.

Während die langsame, tiefe Atmung für Entspannung oder tiefe Schlafphasen charakteristisch ist (Wientjes 1993, Douglas et al 1982, Grossman 1983), wird langsames oberflächliches Atmen mit ruhiger Freude, aber auch mit passivem Gram assoziiert (Averill 1969). Boiten (1993) interpretiert langsames oberflächliches Atmen mit reduziertem Atmungsdrive als Indikator von Zuständen des ‚Sich-Zurückziehens von der Umwelt' (withdrawl from the

environment). Ein solches Atemmuster wurde von Walker et al. (1997) bei länger andauernder, Passiv-Rauch-Exposition vorgefunden und von Danuser (zur Zeit im Druck, 2001) als Ausdruck des passiven, emotionalen Copings gewertet.

Der Schwerpunkt der Atmung – Brustkorb- oder Bauchatmung - variiert entlang der Valenz-Dimension angenehm-unangenehm. Ausserdem könnte hier ein Zusammenhang mit der inhibitorischer Kontrolle bestehen, wobei ein Vorherrschen der Brustkorbatmung mit einem unangenehmen Gefühl der Angespanntheit oder Ängstlichkeit, ein Vorherrschen der Bauchatmung hingegen mit einem angenehmen Gefühl der Entspanntheit in Zusammenhang gebracht wird (Ancoli und Kamiya 1979, Ancoli et al 1980, Lum 1976, Svebak 1975).

Tatsächlich scheint es nicht einfach bloss das Gefühl, das die Atemantwort determiniert, sondern vielmehr die Aktionsbereitschaft, die Erregung, die Notwendigkeit von Kontrolle. Oder auch das Gegenteil: die Entspannung, das Sich-Gehenlassen, die Passivität. Mehrabian und Russel (1974) entwickelten ein semantisches Differential, das es ermöglicht Emotionen in drei Dimensionen zu erfassen: Valenz (angenehm – unangenehm), Arousal (erregend – langweilig) und Dominanz (Kontrolle haben - kontrolliert werden). Zum selben Zweck entwarf Lang (1980) sein grafisches Differential, das sog. ‚Self-Assessment Manikin' (SAM) und liess bis anhin 500 Bilder einschätzen auf Grund der Gefühle, welche diese Bilder induzierten. SAM-Einschätzungen korrelieren hochgradig mit dem semantischen Differential (Bradley und Lang 1994). Es stellt sich nun die Frage, ob diese drei Gefühlsdimensionen auch mit der Atemantwort korrelieren.

Die Eigenschaft das Erleben und Handeln vorrangig an der Aussenwelt zu orientieren bzw. an der Innenwelt ist von Person zu Person äusserst unterschiedlich. C.G Jung (1960) und H.J Eysenck (1981) prägten dafür die Begriffe Extraversion und Introversion. Wenn die Atmung tatsächlich ein Abbild der Reaktionsbereitschaft und/ oder der Kontrolle darstellt, so müssten die Atemantworten Introvertierter und Extravertierter auf induzierte Gefühle unterschiedliche Ausprägungen annehmen. Auch andere Persönlichkeitsvaria-

beln - wie Neurotizismus - könnten demnach Auswirkungen auf die Atemantwort haben. Daher wird im Experiment „Auswirkungen induzierter Gefühle“ den Fragen nachgegangen, ob die oben beschriebenen Gefühlsdimensionen die Atemantwort auf induzierte Gefühle bestimmen und inwieweit die Persönlichkeitsvariable Extraversion – Introversion einen Einfluss auf die Atemantwort ausübt. Zur Induktion der Gefühle wurden Bilder aus dem International Affective Picture-System (IAPS, Center for the Study of Emotion and Attention 1995) herausgegriffen.

4 Methodik

4.1 Das Atemmuster

Das Atemmuster lässt sich einerseits als Beziehung zwischen dem Atemzugvolumen und seiner Volumenelemente sowie der Ein- und Ausatmungszeit, andererseits durch die Variabilität der einzelnen Parameter definieren. Atemmuster charakterisieren sich dementsprechend durch eine Volumen- und Zeitkomponente sowie durch die Bewegungskomponenten des Brustkorbes und des Abdomens (Tobin 1992). Das Atemmuster kennzeichnet beinhaltet aber auch Zeitreihenkomponenten und kann Oszillationen beeinhalten (Brusil et al 1980). Das Atemmuster und seine Parameter sind in Abb. 2 dargestellt.

Die Minutenventilation (Vmin) bzw. das Volumen, das pro Minute eingeatmet wird, setzt sich aus der Atemfrequenz oder -rate (RR) und dem Atemzugvolumen (Vt) zusammen: Vmin = RR x Vt.

In eleganten Studien untersuchten Clark und Euler (1972) die Zusammenhänge zwischen der Atemtiefe (Vt) und -länge der in- und exspiratorischen Phasen und legten damit den Grundstein für die Erforschung des Atemmusters. Diese Arbeit wurde von Milic-Emili und Grunstein (1976) weitergeführt, wobei die Gleichung der Minutenventilation neu formuliert wurde. Da die Atemrate (RR) als 1 geteilt durch die Dauer des Atemzyklus (Ttot) verstanden werden kann, gilt: Vmin = Vt x 1/Ttot. Wird Das Atemzugvolumen (Vt) durch die Inspirationszeit (Ti) geteilt und 1/Ttot mit Ti multipliziert, so ergibt sich: Vmin = Vt/Ti x Ti/Ttot. Der erste Parameter - Vt/Ti - wird mittlere inspiratorische Flussrate oder Inhalationsfluss (eigentlich Vi/Ti) und der zweite - Ti/Ttot - fraktionale Inspirationszeit genannt. Vi/Ti wird als Mass für den Einatmungsantrieb verstanden. Vi/Ti bezeichnet die mechanische Transformation der neuralen Aktivität und korreliert gut mit standardisierten Kennzeichen des Atmungszentrums. Die fraktionale Inspirationszeit Ti/Ttot ist das Mass für das Verhältnis zwischen der Einatmung und der Ausatmung und kann einen groben Hinweis auf eine Verengung der Atemwege darstellen.

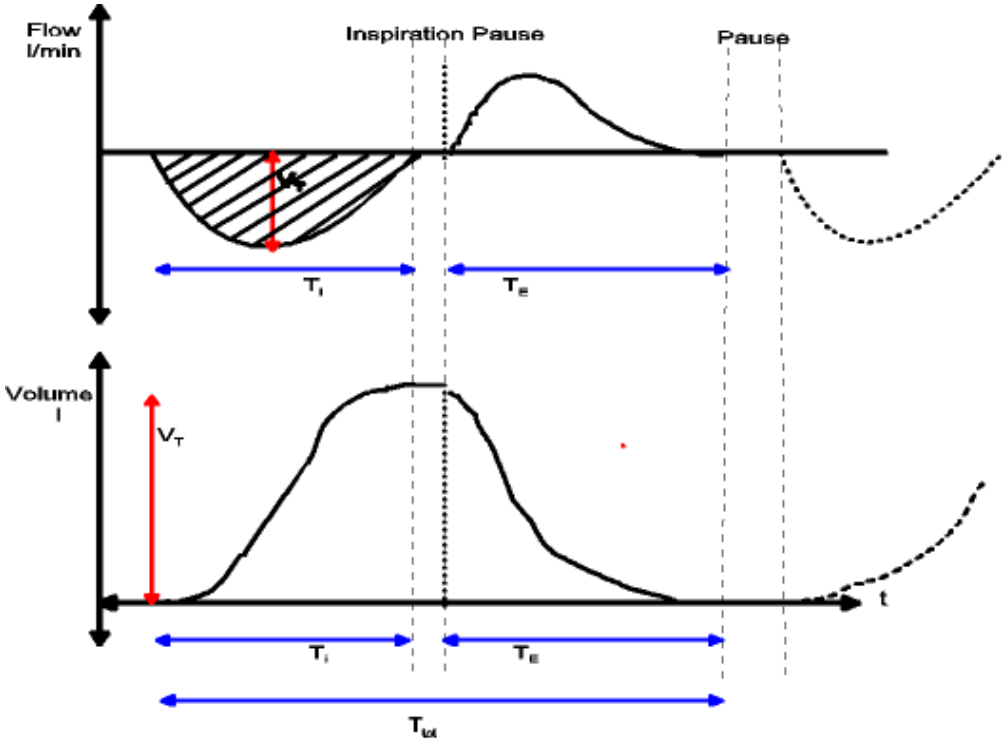


Abbildung 2: Die Parameter eines Atemzuges, einmal als Fluss-Zeitkurve, einmal als Volumen-Zeitkurve dargestellt.

Konno und Mead (1967) gingen davon aus, dass die Lunge in Bezug auf ihre mechanische Bewegung aus zwei Kompartimenten zusammengesetzt ist und zeichneten die Bewegung des Rippenkompartimentes (RC) und des abdominellen Kompartimentes (AB) auf einem X-Y-Diagramm auf. Dies erlaubte gleichzeitig die Bestimmung der relativen Bewegung der beiden Kompartimente.

Modell der Volumenveränderung nach Konno und Mead (1967)

$\Delta V = \alpha \, \Delta RC + \beta \, \Delta AB$

wobei

α, β = Korrekturfaktoren des Brustkorbes bzw. des Bauches (sog. volume-motion-coefficients) darstellen.

Mittels Eichung der Bewegung bei Volumenverschiebungen in der Lunge wurde es möglich, die Anteile der Kompartimente eines Atemzuges zu beschreiben und das Atemzugvolumen über die Bewegungsveränderung zu erfassen. Beim Einatmen vergrössern sich beide - RC und AB - und beim Ausatmen verkleinern sie sich, bis sie wieder die Ruhestellung erreichen. Abnormale Bewegungen können in drei Formen unterteilt werden:

1. Asynchrone Bewegung, bei der sich beide Kompartimente in die gleiche Richtung bewegen, wobei jedoch die Bewegungsrate unterschiedlich ist.

2. Paradoxe Bewegung, bei der sich entweder das eine oder das andere Kompartiment in der entgegengesetzten Richtung bewegt. Daraus resultiert ein minimales Atemzugvolumen.

3. Variationszunahme der relativen Anteile der zwei Kompartimente von Atemzug zu Atemzug, was sich mit der Zuhilfenahme akkzessorischer Atemmuskeln erklären lässt (Roussos 1982).

Paradoxe Bewegungen des RC sind charakteristisch für Patienten mit Hirnstrangläsionen, während sich bei Patienten mit einer Zwerchfelllähmung eine paradoxe Bewegung des AB-Kompartimentes zeigt. Eine inspiratorische Belastung der Atmung kann paradoxe Bewegungen verursachen (Tobin et al 1987). Paradoxe Bewegungen verursachen ein schlechteres Kosten-Nutzen-Verhältnis der Atemarbeit.

Die Aufzeichnung der Bewegungselemente ermöglicht es auch eine eventuelle Veränderung der end-exspiratorischen Ausgangslage im RC- und im AB-Kompartiment zu beschreiben (Yan et al 1996).

Die Analyse des Atemmusters stellt ein Instrument zur Erfassung der neuromuskulären Regulation der Atmung und ihrer Beeinflussung dar. Das Erfassen der beiden Kompartimente erlaubt detailliertere Aussagen über das Zustandekommen des Atemzugvolumens sowie über die Koordination zwischen Tiefe und Frequenz der Atmung. Zusätzlich können durch detailliertere chronologische Autokorrelationen kompensatorische oder verstärkende Oszillationen unter Belastung erkannt werden (Brusil et al 1980).

4.1.1 Messmethoden

4.1.1.1 Direkte Messung

Das Atemmuster kann über einen Spirometer oder einen Pneumotachographen direkt gemessen werden. Dies setzt jedoch voraus, dass durch ein Mundstück in das Messinstrument geatmet wird. Nun hat aber ein Mundstück an sich schon Auswirkungen auf das Atemmuster. Wird also durch ein Mundstück geatmet, so nehmen sowohl VT als auch Ttot während leichter bis mittelschwerer Arbeit verglichen mit unbeeinflusstem Atmen zu (Peak und McCool 1992, Bloch et al 1995, Gilbert et al 1972). Dieser Mundstückeffekt verringert sich bei zunehmend schwererer Arbeit und ist bei 100 W für VT und bei 75 W für Ttot nicht mehr signifikant (Bloch et al 1995). Auch bei zunehmender CO2-Stimulation verkleinerte sich der Mundstückeffekt entsprechend (Weissmann et al 1984). Körperliche anstrengende Arbeit oder hohe CO2-Ventilationsbedürfnisse scheinen demnach den Mundstück-Stimulus zu überrollen. Perez und Tobin (1985) propagieren, dass der Wechsel von nasaler zu oraler Atmung den wichtigsten Faktor für die Veränderungen der Ventilation unter Mundstückatmung darstelle. Der Wechsel von der Nasen- zur Mundatmung unter Arbeitsbelastung erfolgt an einem Umschlagpunkt von ungefähr 35 L/min (Niimiaa et al 1980). Diese Minutenventilation setzt bereits eine recht hohe Arbeitsbelastung voraus, so dass die obigen Daten (Bloch et al. 1995) mit diesem Umschlagspunkt übereinstimmen dürften. Je nach Fragestellung ist es daher wesentlich eine Messmethode zu wählen, für die kein Mundstück erforderlich ist.

4.1.1.2 "Impedance Pneumography"

Zwei Standard-EKG-Elektroden werden auf der Brustwand platziert. Sie dienen gleichzeitig als Sender und Empfänger eines alternierenden Stromes zwecks Berechnung der Impedanz (Askanazi et al 1978). Die dadurch erzeugte Wellenform ist qualitativ gleichwertig wie die mittels Spirometrie aufgezeichnete Wellenform. Das Instrument ist jedoch nicht im Stande quantitative Volumenmessungen zu liefern (Tobin 1986) und ist auch nicht besonders gut geeignet zur Bestimmung der Atemfrequenz (Sackner und Krieger 1985).

4.1.1.3 "Mercury-in-silastic strain gauges"

Dieser Tranducer besteht aus einem mit Quecksilber gefüllten Gummischlauch, der um die Brustwand geschlungen wird (Tobin 1986). Veränderungen in der Länge und im Durchmesser der Quecksilbersäule beeinflussen den elektrischen Widerstand. Diese Quecksilbersäulen stellen einen Teil einer ausbalancierten Wheatstone-Brücke dar. Variationen im elektrischen Widerstand verändern das Gleichgewicht der Brücke und werden aufgezeichnet. Ohne Körperbewegungen lässt sich das Atemzugvolumen mit Hilfe dieser Technik recht genau erfassen; dennoch wird sie wahrscheinlich wegen des Sicherheits-Risikos des vielen Quecksilbers kaum eingesetzt.

4.1.1.4 "Magnetometer"

Magnetometer messen die Veränderungen im Durchmesser des Brustkorbes (RC) und des Abdomens (Ab) während der Atmung (Mead et al 1967). Ein alternierender elektrischer Strom generiert ein elektromagnetisches Feld, das registriert wird. Die Signale von RC und AB werden summiert und liefern, wenn sie geeicht sind, ein zuverlässiges Mass für das Atemzugvolumen. Diese Technik hat sich im Labor als überaus geeignet erwiesen und wird insbesondere in der Atemmechanikforschung eingesetzt (DeTroyer 1984, Estenne und DeTroyer 1990, Levine et al 1991, Yan et al 1996). Relativ geringe Veränderungen in der Körperposition verändern den anterior-posterioren Durchmesser, was bedingt, dass eine neue Volumeneichung durchgeführt werden muss.

4.1.1.5 "Respiratory inductive plethysmography" (RIP)

Das RIP ist das am meisten gebrauchte und akzeptierte Instrument zur qualitativen und quantitativen Erfassung von Atemmustern. Zwei isolierte Induktionsspulen werden in Bänder eingenäht, welche um RC und AB festgebunden werden. Die Selbstinduktion der Spulen ist proportional zum Querschnitt der von der Spule umfassten Fläche. Verändert sich die Fläche, so verändert sich auch die Induktion. Die Spulen sind mit einem kleinen Oszillator verbunden, welcher frequenzmodulierte Signale aussendet, die sich proportional zu den Veränderungen der Selbstinduktion der Spulen verhalten. Die-

se Signale werden mittels eines Demodulators in einen proportionalen Strom umgewandelt, verstärkt und aufgezeichnet.

- Die Eichung des RIP basiert auf den Annahmen von Konno und Mead (1967), wie oben beschrieben. Dieses Konzept der beiden Freiheitsgrade bildet auch die Basis der verschiedenen Eichtechniken, die bei Tobin (1992) im Detail beschrieben sind. Will man das Atemmuster mit Hilfe des RIP aufzeichnen bzw. erfassen, so ist zunächst eine Bestimmung der Volume-motion-Koeffizienten vorzunehmen. Im Folgenden wird das Eruieren dieser Koeffizienten als „interne Kalibrierung" bezeichnet. Je nach Gerätetyp bzw. Hersteller werden unterschiedliche Kalibrierungsverfahren angewendet.

  Wie bei allen nicht-flowbasierenden Messmethoden ist bei der Induktionsplethysmographie - wenn quantitative Volumendaten wesentlich sind - mittels einer spirometrischen oder pneumotachografischen Paralellmessung ein Volumeneichfaktor zu bestimmen und nämlich für jede zu messende Person.

  Die Induktionsplethysmographie (RIP) weist ein breites Einsatzspektrum auf und ist mit Gewissheit das am meisten eingesetzte nicht-invasive Atemmuster-Erfassungsgerät. Das in der Folge benutzte Gerät (Respitrace) funktioniert nach dem Prinzip der Induktionsplethysmographie.

4.1.2 Einfluss der Körperhaltung auf die Volumenerfassung

Eine Veränderung in der Körperhaltung schlägt sich unmittelbar in den Parametern der äusseren Atmung nieder, die durch das Respitrace erfasst werden (Sackner 1980). Bereits 1983 stellte Zimmermann et al fest, dass das (im vorangehenden Kapitel erläuterte) Lungen-Modell von Konno und Mead (1967) mit zwei Freiheitsgraden einer Ergänzung um mindestens einen weiteren Freiheitsgrad bedurfte, nämlich die Körperposition.

Bei einem Haltungswechsel verändert sich einerseits die Grösse der Korrekturfaktoren α und β (im Modell der Volumenänderung von Konno und Mead), andererseits wird bei unterschiedlichen Beugewinkeln des Rumpfes auch die Längsachse des Brustkorbes beeinflusst (Veränderung in der Z-Richtung)

(Zimmermann et al 1983). Bei Haltungswechsel müsste das Modell von Konno und Mead (1967) durch die gewichteten Veränderungen in der Z-Richtung ergänzt werden:

$$\Delta V = \alpha \Delta RC + \beta \Delta AB + \chi \Delta Z$$

wobei:

α, β = Korrekturfaktoren (sog. volume-motion-coefficients) des Brustkorbes bzw. Bauches und χ = Korrekturfaktor des Rumpfes

Vor einer Messung sind diese Korrekturfaktoren zu ermitteln. Diese Ermittelung wird fortan als interne Kalibrierung bezeichnet. Dabei werden verschiedene Volumenabgleichungstechniken angewandt.(Tabelle 3)

Methode	Prinzip	Kennzeichen	Probleme
ISV[a]	Spezielle Atemtechnik	-1 Freiheitsgrad -1 Körperhaltung -1 Kalibrierungs-schritt	- Richtige Durchführung des Atemmanövers ist schwierig - Gaskompression verfälscht die Kal.[d]
QDC[b]	5 Min. ruhige Atmung zur Ermittlung spezieller Standardabweichungen (statistisches Verf.)	-1 Freiheitsgrad -1 Körperhaltung - 2 Kalibrierungs-schritte	- Erster Schritt der Kalibrierung kann ohne parallelle Messung mit Spirometer oder Pneumo. erfolgen
MLR[c]	Regressionstechnik Statistisches Verfahren	-2 Freiheitsgrade -1 Körperhaltung	- Statistisch recht aufwendig
LSQ[d]	Statistisches Verfahren (Least Square Means)	-2Freiheitsgrade -2 Körperhaltungen -2 Gleichungen	- Körperhaltungswechsel bei Kranken problematisch - Robuste Methode[f]
SEQ[e]	Mathematische Umformung; Verfahren aus LSQ abgeleitet	-2 Freiheitsgrade -2 Körperhaltungen -2 Gleichungen	- Körperhaltungswechsel bei Kranken problematisch

[a] Zimmermann 1983, [b] Sackner 1989, [c] Verschakelen 1989, [d] Millman 1986, [e] Cohn 1982, [f] Tobin 1992

Tabelle 3: Prinzipien, Kennzeichen und Problematik der verschiedenen Kalibrierungsmethoden

Neuere Respitrace-Modelle verwenden dafür das QDC-Verfahren (Qualitative Diagnostic Calibration), welches standardmässig eingebaut ist. Die Prinzipien, Kennzeichen und Probleme der verschiedenen internen Kalibrierungsmethoden sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Es stellt sich also die Frage ob Respitrace-Werte nach Änderung der ursprünglichen Körperposition (interne Kalibrierungs-Position) hinsichtlich des Atemzugvolumens in der neu eingenommenen Position überhaupt noch aussagekräftig sind. Mit anderen Worten: Liefert das Respitrace nur bei gleichbleibender Körperhaltung eine Aussage über das Atemzugvolumen und muss bei jeder Veränderung der Körperposition neu intern kalibriert werden?. Verschiedenste Forscher haben sich dieses Problems schon angenommen insbesondere auch zwecks Ermittlung des genauesten internen Kalibrations-verfahrens (LSQ/SEQ/ISV/QDC), das die Korrekturfaktoren für Brustkorb und Abdomen bei einer gegebenen Position ermittelt. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht die vorgefundenen Arbeiten, die den Einfluss von Positionsänderungen auf das gemessene Atemzugvolumen bereits untersuchten. Das mittels Respitrace erfasste Volumen wird dabei mit parallel dazu aufgenommenen direkten Volumenmessungen verglichen. Direkte Volumenmessungen werden meist mit einem Pneumotachographen oder einem Spirometer aufgezeichnet.

Die in Tabelle 4 aufgelisteten Untersuchungen implizieren, dass der Einfluss des Positionswechsels vernachlässigbar klein ist. Insbesondere, wenn man bedenkt, dass eine 100% Übereinstimmung infolge der unterschiedlichen Messmethoden niemals erzielt werden kann. Die Positionswechsel im Liegen - von der Dekubitushaltung auf den Rücken und auf den Bauch - üben wenig Einfluss auf die Genauigkeit der Respitrace-Volumen aus. Hingegen zeigt sich beim Positionswechsel vom Liegen zum Sitzen doch ein erheblicher Einfluss: Hier liegen nur noch 58% der Respitrace-Werte im Abweichungsbereich von ±20% der pneumotachographisch ermittelten Volumen (Sackner 1989). Diejenigen Untersuchungen, die als interne Kalibration QDC benutzten, weisen einen deutlichen Positionseinfluss auf (Sackner 1989). Sackner stellte auch fest, dass einige Probanden in den 5 untersuchten Körperpositionen ein Kopartiment bevorzugten - entweder die Brust- oder die

Bauchatmung -, wohingegen die meisten Probanden mit beiden Kompartimenten normal weiteratmeten. Während die Atemzüge der ‚Normalatmenden' zwischen Respitrace und Pneumotachograph maximal 20% Abweichungen aufwiesen, zeigten sich z.T. bei jenen Probanden, die den Ort der Atmung geändert hatten, 30-40% Abweichungen.

Interne Kalibration	Kalibrierungsposition	Neue Position(en)	Vergleich mit Pneumotachograph
LSQ (a)	In Rückenlage und stehend	Bauchlage, re und li Dekubitushaltung, Rumpf gebeugt, Sitzen und Stehen	89% von Resp. < 10% von Pneum.
SEQ (a)	In Rückenlage und stehend	Bauchlage, re und li Dekubitushaltung, Rumpf gebeugt, Sitzen und Stehen	91% von Resp. < 10% von Pneum
SEQ (b)	In Rückenlage und stehend	Sitzen, Stehen, Liegen Rücken und Bauch, Dekubitushaltung und Rumpf gebeugt (45°)	88% von Resp. < 10% von Pneum
SEQ (b)	In Rückenlage und stehend	Sitzen, Stehen, Rumpf 30°,90° n.v. gebeugt und 30° n.h. Torsion des Rumpfes um 30° n.re und li	90% von Resp. < 10% von Pneum
SEQ (b)	In Rückenlage und stehend	Rumpf 90° n.v. gebeugt	86% von Resp. < 10% von Pneum
ISV (b)		Sitzen, Stehen, Rumpf 30°,90° n.v. gebeugt und 30° n.h. Torsion des Rumpfes um 30° n.re und li	86% von Resp. < 10% von Pneum
QDC (c)	In Rückenlage	li Dekubitushaltung	87% von Resp. < 20% von Pneum
QDC (c)	In Rückenlage	re Dekubitushaltung	90% von Resp. < 20% von Pneum
QDC (c)	In Rückenlage	Bauchlage	76% von Resp. < 20% von Pneum
QDC(c)	In Rückenlage	Sitzen	58% von Resp. < 20% von Pneum
QDC (c)	In Rückenlage	Liegen	90% von Resp. < 10% von Pneum

a) Chadha 1982, b) Cohn 1982, c) Sackner 1988

Tabelle 4: Einfluss des Positionswechsels auf die Genauigkeit der Volumenmessung mittels Respitrace

Über den Einfluss der Kalibrierungsposition innerhalb der verschiedenen Sitzpositionen wurden keine Studien vorgefunden. Wie aus Tabelle 4 zu entnehmen ist, wurden mehrheitlich klinisch relevante Liegepositionen untersucht und der Begriff Sitzen wurde nicht genau definiert. Wir stellten uns daher die Frage, wie das Wechseln der Sitzposition die Volumenwerte be-

einflussen würde. Insbesondere für Messungen am Arbeitsplatz sind Wechsel in der Sitzposition von grosser Bedeutung.

4.2 Experimentelle Untersuchung I: Einfluss von Positionswechsel

Fragestellung: Beeinflusst eine Veränderung der Sitzposition - verglichen mit der Position, in der die volume-motion-Koeffizienten kalibriert wurden (Kalibrierungsposition) - bei anthropometrisch ähnlichen jungen Männern (siehe Tabelle 5) das mittels Respitrace erfasste Atemzugvolumen unter kontrollierten klimatischen Bedingungen?

Zusätzlich sollte das Experiment folgende Fragen klären: Wo liegen die Fehlerquellen im Umgang mit den riesigen Datenmengen? Welche Schritte sind mit grossen Unsicherheiten verbunden? Was muss technisch unternommen werden um valide Daten zu erhalten.

Parameter	Einheit	Mittelwert	SD
Alter	Jahre	27.8	3.71
Körpergrösse	M	1.79	0.05
Körpergewicht	Kg	73.4	11.0
Body Mass-Index	kg/m2	22.8	2.68
Unterschenkellänge	Cm	56.2	1.46
Sitzhöhe	Cm	47	1.68
Gesäss-Knielänge	Cm	59.1	4.72
Sitztiefe	Cm	47.8	2.93
RC-Inspiration	Cm	96.7	4.18
RC-Exspiration	Cm	91.7	4.76
Abdomen-Inspiration	Cm	84.5	6.87
Abdomen-Exspiration	Cm	79.0	7.39
Manubrium-Xiphoid	Cm	17.8	2.36
Xiphoid-Nabel	Cm	18.5	2.38
FVC	l (%pred)	6.1 (112.9)	0.6 (9.4)
FEV1	l (%pred)	5.0 (108.0)	0.2 (5.0)
FEV1/FVC	%	82.4	7.0
Peakflow	l/min (%pred)	9.6 (117.9)	2.8 (25.4)
FEF 25-75	l/min (%pred)	5.8 (101.0)	1.5 (17.3)
Vitalkapazität	l (%pred)	5.5 (102.)	0.7 (11.5)
Atemgrenzwert	l/min (%pred)	185.9 (101.9)	31.7 (19.1)

Tabelle 5: Charakteristika der 8 Versuchspersonen

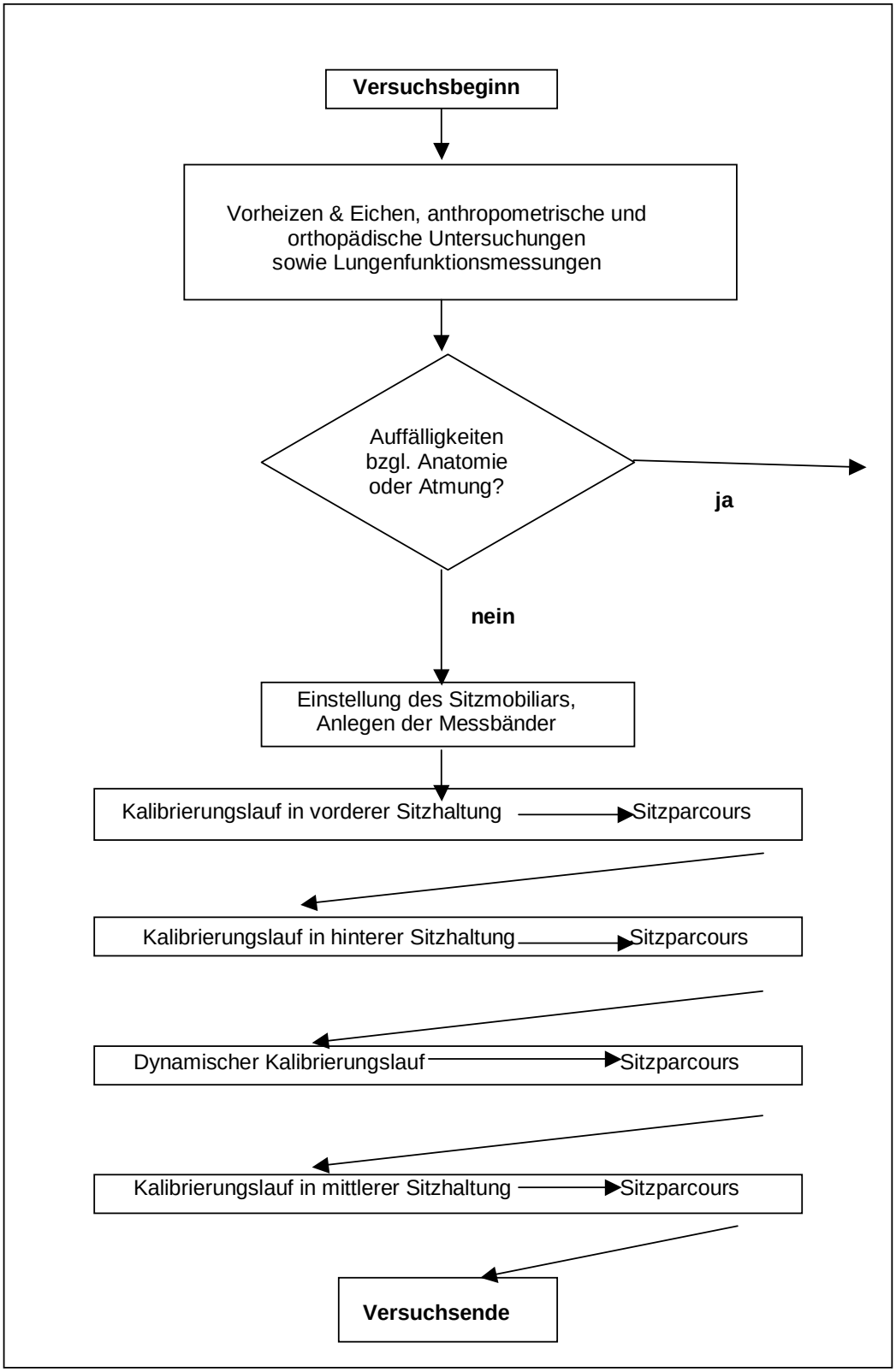


Abbildung 3: Ablauf eines gesamten Versuches

4.2.1 Methodik:

Experimenteller Versuch mit 8 jungen männlichen Versuchspersonen, die einen Sitzparcours absolvierten, wobei das Atemzugvolumens Vt mittels Respitrace plus (NIMS, FL, USA) und Pneumotachographen (cardio-respiratory System, MedGraphics, MN, USA) simultan erfasst wurde. Insgesamt absolvierte jede Versuchsperson - gemäss Abbildung 3 - vier Kalibrierungsläufe und je anschliessend einen Sitzparcours.

4.2.1.1 Sitzpositionen:

Als Körperhaltungen wurden verschiedene Sitzpositionen aus dem Büroalltag übernommen (Tabelle 6)

Sitzposition	Abk.	Einstellung	Kommentar
Hintere Sitzhaltung	HSH	120° zwischen Rückenlehne und Sitzfläche	Körperschwerpunkt liegt hinter der Rumpfmitte; eine der drei Grundpositionen
Mittlere Sitzhaltung	MSH	100° zwischen Rückenlehne und Sitzfläche	Körperschwerpunkt liegt über der Rumpfmitte; eine der drei Grundpositionen
Vordere Sitzhaltung	VSH	80° zwischen Rückenlehne und Sitzfläche	Körperschwerpunkt liegt vor der Rumpfmitte; eine der drei Grundpositionen
Zusammengeklappte Sitzhaltung	ZSH	Winkel zwischen Rumpf und OS beträgt zw. 5-10°	Stellt Aufheben bzw. Herausnehmen einer Sache aus einer unteren Schublade dar.
Sitzfläche nach unten geneigt	SFU	105° zwischen Rückenlehne und Sitzfläche	Simuliert eine der diversen Stuhleinstellungen
Torsion des Rumpfes	TR	Rumpf 90° nach rechts gedreht	Beschäftigung an einem Arbeitplatz in L-Form, sprechen mit dem Büronachbar
Stehsitzhaltung mit mittlerer Rumpfposition	SSM	Rumpf 90° gegenüber Horizontalen geneigt (aufrecht)	Wichtige Position im Steh-Sitz-Konzept
Stehsitzhaltung mit vorderer Rumpfposition	SSV	Rumpf 60° gegenüber Horizontalen gebeugt	Andere Stehsitzeinstellung

Tabelle 6: Beschreibung der berücksichtigten Sitzpositionen (OS = Oberschenkel)

Die ausgewählten Einstellungen der Bürostühle erfassen auf der einen Seite die vordere, mittlere und hintere Sitzhaltung - je nachdem, ob der Körperschwerpunkt vor, über oder hinter der Rumpfmitte liegt. Auf der anderen Seite enthält der Sitzparcours aber auch Positionen, die bestimmte Situationen aus dem Büroalltag simulieren sollen. Eine Position, bei der der Rumpf bei-

nahe die Oberschenkel berührt, soll z.B. das Aufheben eines Gegenstands vom Boden bzw. das Herausnehmen von Utensilien aus einer unteren Schublade darstellen.Vier Bürostühle (Typ Pronto, Fa Girsberger) mit unterschiedlichen Winkeln zwischen Rückenlehne und Sitzfläche wurden derart angeordnet, dass die Probanden insgesamt sechs statische Körperhaltungen und eine daraus abgeleitete dynamische Körperbewegung einnehmen bzw. ausüben konnten. Zusätzlich wurde ein Stehsitz aufgestellt, der die Möglichkeit bot, weitere Winkel zwischen Rumpf und Oberschenkel in vertikaler Richtung zu untersuchen.

4.2.1.2 Statistik:

Für jeden Probanden wurde für jede Sitzposition getrennt nach den 4 Kalibrierungsbedingungen die lineare Korrelation der Respitrace-Daten mit den Pneumotachographen-Daten berechnet. Die Korrelation der Kalibrierungssitzposition wurde als die eigentlich „wahre“ angeschaut. Wenn diese ein r von 0.6 nicht erreichte, wurden die Daten dieses Probanden für den betreffenden Sitzparcours verworfen. Die Korrelationsparameter der verschiedenen Sitzpositionen wurden an Hand von Varianzanalysen mit Wiederholungen untersucht.

4.2.2 Resultate

Tabelle 7 stellt die Matrix der Regressionskoeffizienten zwischen Respitrace-Volumen und Volumen des Pneumotachographen für das Atemzugvolumen der einzelnen Kalibrations- und Sitzbedingungen dar.

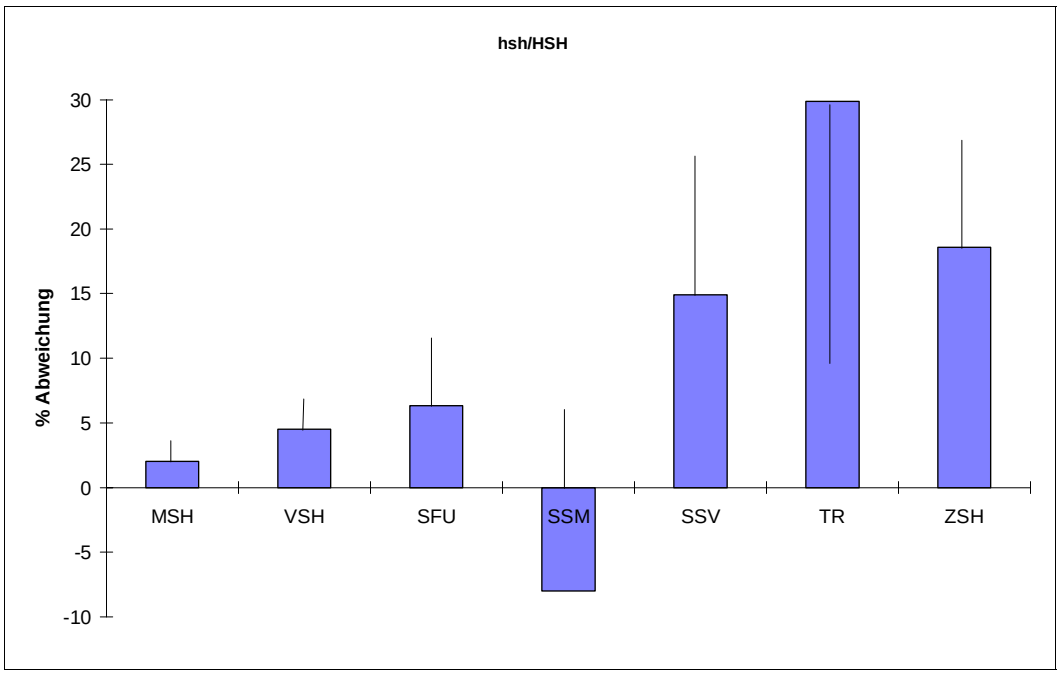
Die ANOVA über die drei Hauptsitzpositionen (HSH, MSH, VSH) und die 4 verschiedenen Kalibrierungen zeigt keinen Unterschied zwischen den ermittelten Korrelationen auf ($f(3/20)$ 0.96 $p>0.4$).
Wenn alle Sitzpositionen einbezogen werden, sehen die Ergebnisse anders aus. Wird der Einfluss der Sitzposition für jeden Kalibrierungslauf einzeln untersucht, so erweist sich die ANOVA als hoch signifikant ($f(7/50)$ 3.65, $p<0.001$), d. h. die Beziehung zwischen Respitrace-Volumen und Pneumotachographen-Volumen verändert sich.

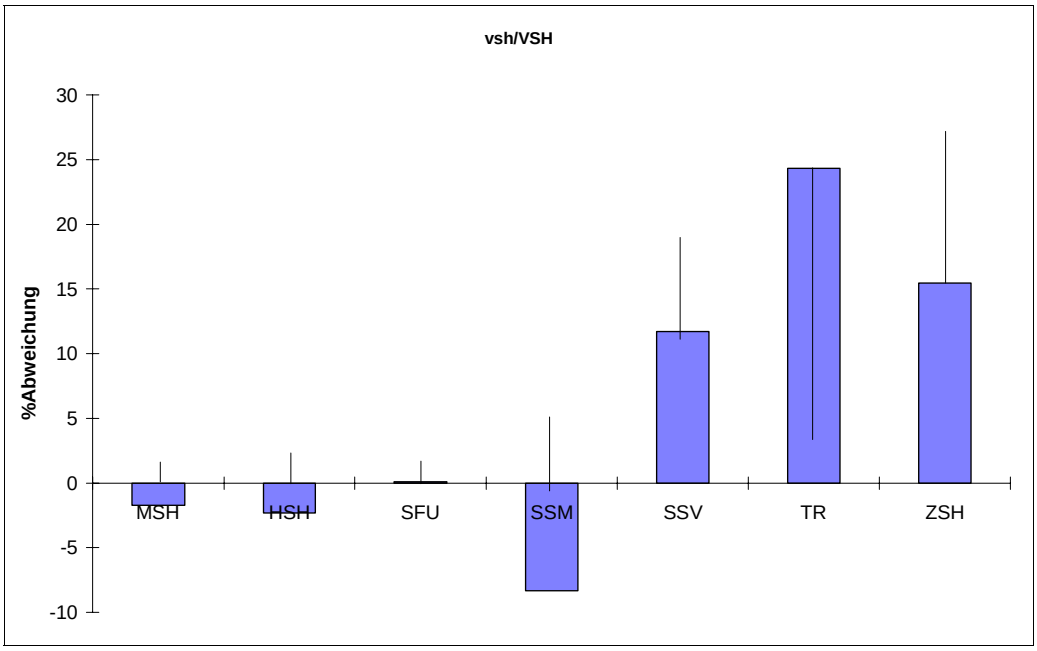
Rg.	Kal.	Eingenommenen Körperposition							
		HSH	MSH	VSH	SFU	SSM	SSV	TR	ZSH
b0	dyn	172.3*	179.6*	164.9*	230.7	227.6	339.8	191.5	229.6
b1		0.71	0.72	0.79	0.60	0.64	0.54	0.52	0.60
b0	Hsh	270.1	260.2	282.3	155.2	275.1	353.7	-26.9	129.1
b1		0.74	0.77	0.79	0.63	0.52	0.51	0.93	0.60
b0	Msh	278.4	288.1	313.8	347.7	341.9	368.1	267.7	280.1
b1		0.68	0.63	0.65	0.46	0.43	0.44	0.45	0.36
b0	Vsh	288.1	249.4	325.1	152.0	158.5	188.2	48.9	226.0
b1		0.79	0.78	0.71	0.67	0.64	0.67	0.86	0.52

HSH: = hintere Sitzhaltung SFU = aufrecht, mit nach unten geneigter Fläche
MSH = mittlere Sitzhaltung SSM = Stehsitz mit senkrechtem Rumpf
VSH = vordere Sitzhaltung SSV = Stehsitz nach vorne geb.
TR = Torsion des Rumpfes ZSH = zusammengeklappte Haltung
b1 = Regressionskoeffizient, b0 = Interzept

Tabelle 7: Regressionskoeffizienten und Interzepte (Besser Plural!!) aufgeschlüsselt nach Kalibrierungsposition und eingenommener Körperhaltung

Abbildung 4 zeigt diejenige Abweichung der Respitrace-Volumenwerte in Prozenten, die ± 20% von der ermittelten Regressionsbeziehung in der Kalibrierungsposition HSH und VSH abweichen und zwar aufgeschlüsselt nach den einzelnen Sitzpositionen.





HSH: = hintere Sitzhaltung
MSH = mittlere Sitzhaltung
VSH = vordere Sitzhaltung
TR = Torsion des Rumpfes
SFU = aufrecht, mit nach unten geneigter Fläche
SSM = Stehsitz senkrechter Rumpf
SSV = Stehsitz nach vorne gebeugt.
ZSH = zusammengeklappte Haltung

Abbildung 4: % Anteil der Abweichungen, die über ± 20% von der ermittelten Regressionsbeziehung in der Kalibrierungsposition HSH (vordere Abb.) und VSH liegen

Bei allen Kalibrierungsläufen zeigt sich deutlich, dass die extremen Sitzpositionen einen signifikanten Einfluss auf die Beziehung zwischen Respitrace-Vt und pneumotachographisch ermitteltem Vt ausüben.

Da argumentiert wird, dass der motion-coefficient des RC- und des AB-Kompartimentes sich je nach Sitzposition verändert, sind in Tabelle 8 die RC-Anteile am Volumen als Mittelwerte mit SD aufgelistet. In den normalen Sitzhaltungen findet sich kein Unterschied zwischen den RC Anteilen. Die 3 Kalibrationspositionen üben bei diesen Positionsänderungen keinen unterschiedlichen Einfluss aus. Vor allem bei den beiden Stehsitzhaltungen wird der RC-Anteil bedeutend grösser und der Abdomen Anteil somit deutlich kleiner, d.h. dass der Abdomenanteil bei offnerem Bein-Hüftwinkel unterschätzt wird. Bei der zusammengeklappten Haltung ist auffällig, dass die Standardabweichung zunimmt, was bedeutet, dass diese Sitzposition indivi-

duell sehr unterschiedliche Auswirkungen hat. In einer gegebenen Position sind die Werte nicht verschieden, so dass der Einfluss der Kalibrierungspositionen auf den registrierten RC-Anteil gering war. Bei extremen Positionen muss in dieser Position kalibriert werden, will man einen adequaten RC-Anteil-Wert erhalten:

Kalibrierung.	Sitzpositionen							
	MSH	HSH	VSH	SFU	SSM	SSV	TR	ZSH
msh	45(7)	40(9)	45(8)	40(6)	65(23)*	28(9)*	39(11)	24(12)
hsh	43(6)	41(7)	45(7)	39(8)	72(18)*	32(11)*	36(11)	27(9)
vsh	43(7)	43(6)	48(12)	39(7)**	71(15)*	34(9)*	41(7)	29(10)
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* p<0.05 verglichen mit den üblichen Sitzpositionen (MSH, HSH, VSH), ** p<0.05 nur zwischen VSH Position, alle Werte einer Spalte sind statistisch gleich.

Tabelle 8: RC-Anteil am Vt in % (Mittelwert (SD)

Dies (Tabelle 8) unterstützt die Argumentation, dass die Fehleinschätzung des Volumens bei veränderter Körperposition durch nicht-adequate motion coefficients (α,β) bedingt ist. Es versteht sich von selbst, dass diese Positionsfehlerquellen sich auf alle volumenbasierten Parameter - wie Atemminutenvolumen und Inspirationsfluss - auswirken.

4.2.3 Diskussion

Für experimentelle Versuche in gleicher Körperposition mit kleineren Positionsänderungen kann das Respitrace, wenn in dieser Haltung kalibriert, adequate Volumendaten liefern. Wenn nun aber das Respitrace an einem Büroarbeitsplatz angewendet würde, so müssten die Extrempositionen z.B. mittels Video erfasst werden, um die in dieser Position aufgezeichneten Werte korrigieren oder verwerfen zu können. Bei den leichten Positionsveränderungen zwischen der mittleren, vorderen und hinteren Sitzhaltung kann jedoch von einer Korrektur abgesehen werden.

Wie schon Peak et al (1990) zeigten, überschätzt das Respitrace bei den gebeugten Körperpositionen - also bei einem verengten Becken-Oberkörper-Winkel - die Volumina. Durch diese Verengung verändern sich die Grenzen der Abdominalhöhle (AB), das Brustkorb Kompartiment (RC) verlegt sich kaudal und die axiale Dimension der vorderen AB-Wand wird schmäler.

Demzufolge wird ein kleinerer Teil der AB-Höhle durch die vordere Wand begrenzt und die äusseren AB-Veränderungen nehmen zu. Eine gegebene Volumenveränderung des AB-Kompartimentes führt zu einer grösseren Bewegung der AB-Wand nach aussen hin. Der volume-motion-Koeffizient b wird objektiv kleiner. Dies zeigen unsere Resultate aus Untersuchungen bei Probanden in gebeugten Sitzpositionen (ZSH = zusammengeklappte Haltung, SSV = Stehsitzhaltung mit vorderer Rumpfposition) deutlich. Auch Zimmermann et al (1983) konstatierten diese Veränderungen beim Wechsel von der aufrechten in die sitzende und in die liegende Körperstellung.

Die Bestimmung der volume-motion-Koeffizienten wurde hier mit der QDC-Methode durchgeführt, welche fest im Respitrace integriert ist; die Grösse der Koeffizienten gibt das Gerät nicht an. In den gebeugten Positionen haben wir keine volume-motion-Koeffizienten-Eichung vorgenommen, so dass sich der entsprechende Einfluss der Koeffizienten auch nicht ermitteln lässt. Alle Versuche wurden bei spontaner Atmung durchgeführt und nicht - wie bei Peak et al (1990) - bei vorgegebenen Volumen. Die Ursache für die Überschätzung der Volumen bei gebeugter Haltung kann hier somit nicht näher untersucht werden. Peak et al (1990) zeigten auf, dass diese Fehleinschätzung auf zwei Hauptfehlern beruht: einerseits auf einer Verschiebung der Konno-Mead-Isovolumenkurve und andererseits auf einer Veränderung der Steigung der Kurve. Sie führen an, dass sich das Modell erheblich verbessern lässt, wenn eine zusätzliche Bestimmung und Integrierung der axialen Z-Verschiebung mit einbezogen wird.

Schon die sitzende Position charakterisiert sich durch eine gebeugte Körperhaltung. Nichtsdestotrotz konnten wir nachweisen, dass das Respitrace, wenn in einer normalen Sitzposition geeicht, das effektive Volumen bei zusammengeklappter Position bis zu 20% überschätzt. Die Analyse der relativen Anteile von RC und AB am gesamten Volumen deutet darauf hin, dass b für die neue gebeugte Position zu gross ist und a zu klein, so dass der prozentuale Anteil des RC-Kompartimentes am Volumen bei diesen Positionen signifikant unterschätzt wurde.

Die Überschätzung des Volumens bei seitlicherTorsion des Brustkorbes wurde noch nie untersucht und lässt sich auch nicht leicht erklären. Zudem zeigen die registrierten RC-Anteile am gesamten Volumen eine sehr grosse Streuung und zwar in der Gruppe wie auch beim Einzelnen. Das bedeutet einerseits, dass die Individuen verschieden reagieren und andererseits, dass sich auch Einzelpersonen in dieser Position nicht immer gleich verhalten. Diese Körperposition ist an sich nicht künstlich, das Verharren in dieser Position hingegen schon. Wir verharren normalerweise keine zwei Minuten in einer derart stark abgedrehten Haltung, sondern führen das Becken nach. Einerseits ist anzunehmen, dass die Veränderungen in der AB-Wand nicht in einer adequaten Volumenveränderung resultiert, da die Effizienz des Zwerchfelles durch die abgedrehte Haltung womöglich herabgesetzt wird. Andererseits strecken wir die Wirbelsäule um uns im Kreuz abdrehen zu können, vergrössern also den hinteren axialen Abstand. Dadurch könnten sowohl die hintere Thoraxwand als auch die hintere Abdominalwand verkleinert werden und beide Koeffizienten würden demnach überschätzt. Zusätzlich ist in Betracht zu ziehen, dass in dieser Stellung respiratorische Hilfsmuskeln beigezogen werden, welche die äussere Atmung verändern.

Die erhaltenen Datenfiles waren riesig – sie umfassten schlussendlich mehrere Gigabytes - und die Handhabung dieser Files stellte uns vor etwelche Probleme. Insbesondere das Schneiden der zwei Datenfiles (Respitrace-Werte und Pneumotachographen-Werte) von Hand auf Grund parallel aufgenommener Zeitzeichen war mit grossen Unsicherheiten behaftet. Für die Korrelation physiologischer Daten ist die simultane Aufzeichnung essenziell. Dies gilt nicht nur für die Respitrace- und die Pneumotachographen-Daten, sondern auch für weitere zusätzlich zu erfassende physiologische Daten sowie für Marker, die eine Untersuchungsbedingung kennzeichnen. Anhand solcher Marker könnten alle erfassten Daten sicher und gleichwertig zwecks Analyse geschnitten werden.

Insgesamt sind die erhaltenen Korrelationen im Vergleich zu ähnlichen Studien als gering einzustufen. Dies ist insbesondere auf die unterschiedlichen Analysetechniken zurückzuführen. Die Respitrace- und die Pneumotachographen-Daten wurden mit Hilfe verschiedener, von den Geräteherstel-

lern mitgelieferten Programmen analysiert. Diese vielfältigen Analysemethoden sind ein Hauptgrund für die abweichenden Resultate. Die Programme haben verschiedene Defaults-Kriterien, ob eine Volumenzunahme als einzelner Atemzug erkannt wird oder nicht, ebenso unterscheiden sie sich hinsichtlich der Bestimmung der Atemzeiten. Insbesondere mussten wir feststellen, dass das Atemzugvolumen in der Breeze-Software (Pneumotachograph) mit dem ausgeatmeten Volumen gleichgesetzt wird und optische Kontrollen ergaben, dass RespiEvents (Respitrace) das Inhalationsvolumen als Atemzugvolumen betrachtet. Die Analysen der Respitrace-Aufzeichnungen mit der mitgelieferten Software RespiEvents wurde als Black Box erlebt. So konnten wir in Bezug auf den zeitlichen Aspekt nicht eruieren, ob die exspiratorischen Pausen noch zur Exspiration oder bereits zur darauf folgenden Inspiration gezählt wurden. Im Auswertungsprogramm des Pneumotachographen (Breeze) wird die Pause unmittelbar nach der Exspiration zu dieser hinzugerechnet. Die Software RespiEvents wurde speziell zum Erkennen von Atemstillständen (Apnoe) entwickelt, doch wir mussten leider feststellen, dass sie in Hinblick auf unsere Fragestellungen kaum brauchbar war.

Insbesondere zum Zwecke der Volumenkalibrierung sollten beide Atmungskurven (Respitrace und Pneumotachograph) gleichzeitig aufgezeichnet und mit demselben Auswertungsprogramm analysiert werden. Die Volumenkalibrierung des Respitrace ist überaus wesentlich, da das Respitrace nach der Kalibrierung auch alleine, d.h. ohne Parallel-Messungen, zu gebrauchen sein sollte. Daher ist die Volumenabeichung vor und nach einem Versuch zu standardisieren und überprüfbar zu gestalten.

Diese Erfahrungen und Überlegungen führten uns dazu eine eigentliche Atemmuster-Messumgebung zu entwickeln.

Das Experiment I zeigte uns, dass das Respitrace in dieser Form nur in recht stabilen Positionen brauchbar ist. Messungen im Felde sind mit der vorhandenen Technik nicht zuverlässig. Nur Messungen in Positionen, die der Kalibrierungsposition ähnlich sind, können verwertet werden. Ähnlich bedeutete hier, dass der Rumpf-Bein-Winkel zwischen 80-120°zu liegen hat

und dass der Rumpf dabei nicht abgedreht werden darf. Es sind technische Weiterentwicklungen erforderlich, z.B. durch zusätzliche Bestimmung der Veränderungen in der Z-Achse mittels Mercury strains für Feldversuche. Ein separates Aufzeichnen und Analysieren der RC- und der AB-Veränderungen ohne Einbezug der internen Kalibrierungsfaktoren könnte bestimmte Bezüge zu gewissen Körperpositionen optisch erhellen und - je nach Körperposition - zu Korrekturfaktoren führen, die jedoch separat aufgezeichnet werden müssten.

Die Volumenkalibrierung des Respitraces sind zu standardisieren, die Atemkurven simultan zu registrieren und durch dasselbe Auswertungsprogramm zu analysieren.

5 Aufbau einer Atemmuster-Messumgebung

5.1 Aufgabenstellung

Ziel des Projektes „RespiG“ war, die Funktionen Kalibrierung und Datenerfassung (inkl. Marker) für Atemmuster-Messungen mittels LabView und MATLAB zu implementieren. Das RespiG wurde bewusst so aufgebaut und beschrieben, dass Weiterentwicklungen möglich und einfach zu implementieren sind. Als medizinische Messgeräte werden der Induktions-Plethysmograph Respitrace PLUS, der Pneumotachograph CPX/D und das Wiener Testsystem EMG verwendet. „RespiG“ (sprich: respi dschii) versteht sich als Teilprojekt zum Projekt „Atemmuster“ des IHA und wurde mit LabView (© National Instruments) und MATLAB (© MathWorks, Inc.) realisiert.

5.1.1 Messbedingungen

Die Versuchsperson wird an Respitrace PLUS (Induktionsplethysmographie, Hersteller: NIMS, USA, Vertrieb: SensorMedics) mittels zweier dehnbarer Bänder angeschlossen. Das sogenannte „Rip Cage“-Band wird auf Höhe des Brustkastens und das „Abdominal“-Band auf Bauchnabelhöhe um den Körper gespannt.

Der Anschluss an den Pneumotachographen CPX/D (Hersteller: Medical Graphics Corporation, USA) erfolgt mittels Atemmaske, welche mit einem Haarnetz und Gummibändern über Nase und Mund der Versuchsperson befestigt wird.

Die Verwendung des EMG ist nicht erforderlich für die Kalibrierungen von RespiG. RespiG ermöglicht jedoch das parallele Aufzeichnen von EMG und Atemdaten in unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten (sogenannte Samplerate in Hertz).

Die ANALOGEN Schnittstellen der drei Geräte werden durch ein Kabel (mit drei separaten Steckern) an der A/D-Karte des Computers mit RespiG angeschlossen. Werden einige Kabel (z.B. EMG oder FLOW) nicht verbunden, so können auf den entsprechenden Messkanälen u.U. 50 Hertz Schwingun-

gen auftreten, wie mit einer Spektralanalyse gezeigt werden konnte. Dies äussert sich in sehr schnellen Schwingungen in den von RespiG geplotteten Graphen. Der Effekt hat aber keine Auswirkungen auf die anderen angeschlossenen Messkanäle. (siehe Abbildung 5).

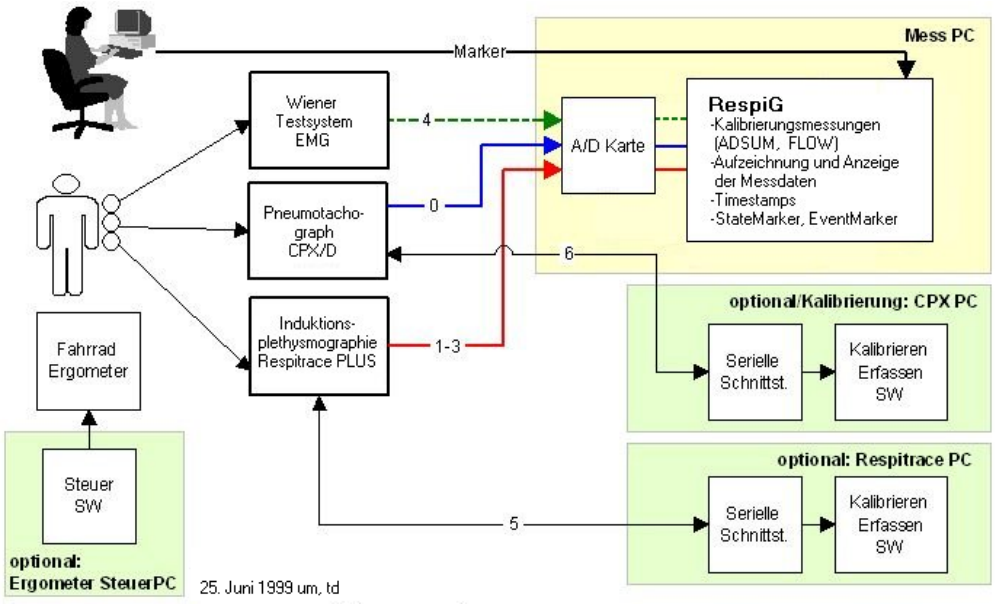


Abbildung 5: Messaufbau für RespiG

Wir messen über die analogen Schnittstelle folgende Signale in Volt:

0 FLOW (Pneumotachograph CPX/D)
1 ADSUM RIP (Summe von RC und AB, Respitrace PLUS [RIP])
2 RC RIP („rip cage“-Band)
3 AB RIP („abdominal“-Band)
4 EMG (Wiener Testsystem)

Über die seriellen Schnittstellen 5 und 6 können die proprietären Messprogramme der jeweiligen Hersteller angeschlossen werden. Bei 5 wird RespiTrends v. 1.6c/RespiEvents 4.2e und bei 6 wird BREEZE eingesetzt.

5.2 Implementierung

5.2.1 Übersicht

Im folgenden wird auf die Implementation der verschiedenen Module von „RespiG“ eingegangen. Das Projekt RespiG besteht aus Benutzersicht aus den folgenden Modulen:

i) RespiG – Atemmuster-Messungen (LabView):
Aufzeichnung der Roh-Messdaten
ii) RespiG Kalibrierung (LabView):
Messung von ADSUM und FLOW in mehreren Kalibrierungsphasen
iii) RespiG Cal (MATLAB):
Auswertung der Kalibrierungsmessungen und Bestimmen des Umrechnungsfators ADSUM %Vt zu Vt sowie Messüberprüfung
iv) RespiG Conv (MATLAB):
Auswertung und Aggregation der Roh-Messdaten zu u.a. Tidal-Volumina und In-, Exspirationszeiten.

5.2.2 RespiG – Virtual Instruments

Das Hauptmodul wurde als LabView Virtual Instrument in der grafischen Programmiersprache G realisiert. Abspaltbare Teile wurde als Sub-Virtual Instruments (eine Art Unterprogramm) implementiert und konnten somit u.a. auch in RespiG Kalibrierung wieder verwendet werden.

Virtual Instrument (LabView)	**Dateiname**	**Funktionsbeschrieb**
	RespiG_Start.vi	RespiG – Atemmuster-Messungen Hauptmodul, welches zum Aufzeichnen des eigentlichen Versuches und zum Starten von RespiG Kalibrierung dient.
	RespiG_Information.vi	Dialogbox, welche Informationen zum Programm anzeigt.
	RespiG_Preferences.vi	Dialogbox, welche die Einstellung von Scanrate und die Auswahl der aufzuzeichnenden Logfiles erlaubt.
	RespiG_Calibration.vi	RespiG – Kalibrierung
	RespiG_Timestamps.vi	Erzeugung von Timestamps (Array) für die Logfiles anhand der Scanrate.
	RespiG_Globals.vi	Globale Variablen, welche von mehreren VI’s geschrieben und/oder gelesen werden.
	RespiG_Store.vi	Abspeicherungsroutine für Arrays als Logfiles.

Tabelle 9: Funktionsbeschreib der RespiG-Files

Die kleineren VI's sind recht einfach aufgebaut und bedürfen keiner weiteren Erklärung, da die grafische Programmiersprache G sie eigentlich bereits dokumentiert. Tabelle 9 gibt einen Überblick der RespiG-Files.

5.2.2.1 RespiG – Atemmuster-Messungen (LabView)

Da LabViews Programmiersprach G leider zu recht grossen Ausdehnungen (ca. A3) des Programm-„Codes" führt und sich dabei viele Konstrukte selbst überdecken, habe ich die Struktur in Pseudo-G nachgezeichnet.

5.2.3 Hinweise zur Implementierung

Bei der Implementierung musste für folgende Funktionalitäten eine Lösung gefunden werden:

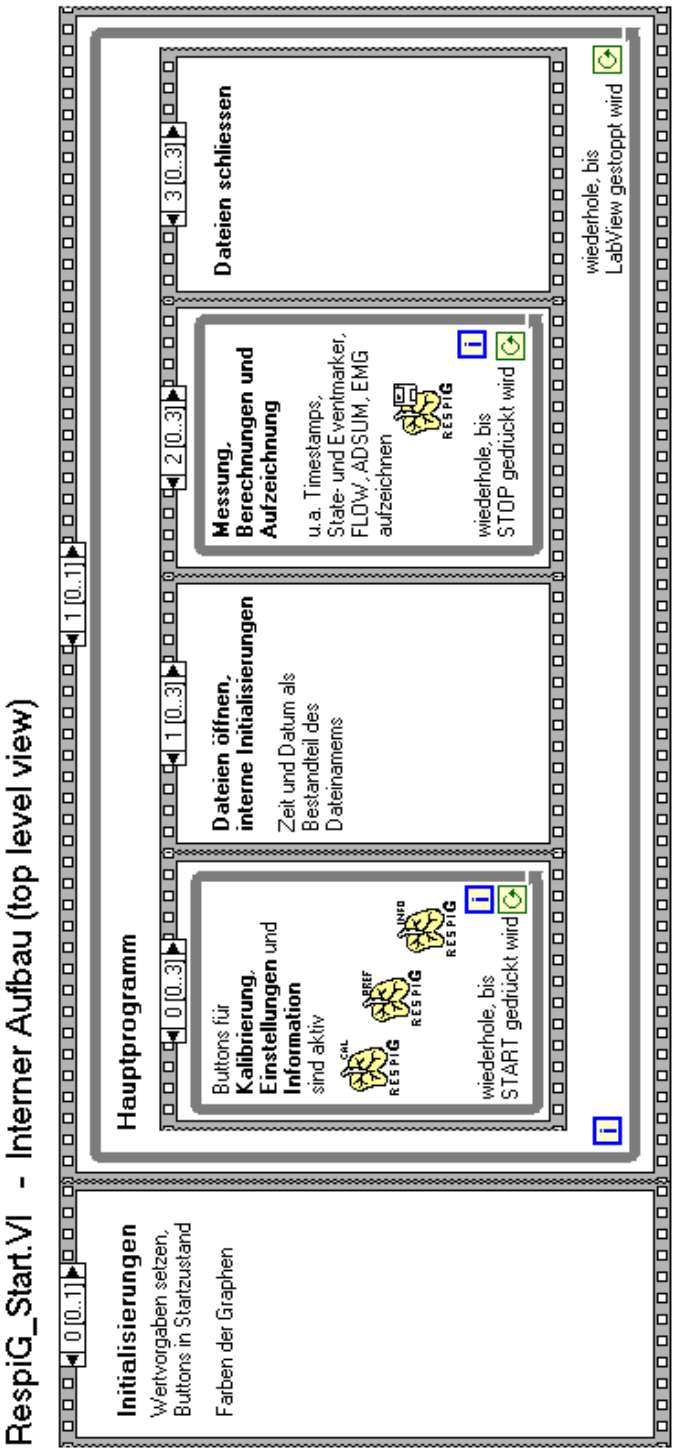
a) Gleichzeitiges Aufzeichnen von Respi- und EMG-Daten mit unterschiedlichen Sampleraten
b) Statemarker
c) Eventmarker
d) Timestamps effizient erzeugen
e) LabViews Besonderheiten
f) Störungen auf den analogen Messkanälen

a) In LabView gibt es zwei Möglichkeiten zur Aufzeichnung von Messdaten:

1. Polling und 2. Continuous Read.

Bei Variante 1 mit Polling könnte man die Daten mit dem kgV der beiden Sampleraten abholen und dann ein Teil der Werte nur als Respi-, ein anderer Teil nur als EMG-Daten und ein dritter Teil für beide verwenden. Nun ist Variante 1 aber mit viel Overhead verbunden, sodass statt mit dem kgV der Sampleraten höchstens mit der grösseren Samplerate gearbeitet werden könnte. Es hat sich jedoch gezeigt, dass bereits ab etwa hundert Hertz das Polling starke Verzögerungen aufweist, was keine äquidistanten Messungen mehr erlaubt und für unsere Zwecke (mit Timestamps) unbrauchbar ist. Für RespiG muss schliesslich noch gleichzeitig geplottet werden.

Aus diesen Gründen wurde Variante 2 mit Continuous Read gewählt. Hier wird vorgängig die Messung aufgesetzt mit Anzahl Samples pro Sekunde, zu lesende Kanäle usw. und danach wird einmal pro Sekunde ein Array mit den Messdaten geliefert. Es hat sich jedoch auch hier



Pseudo-G Legende

-**Diarahmen:**

Sequenzkonstrukt. Reihenfolge gemäss Nummer am oberen Rand: <aktueller> [<erster> .. <letzter>] Block

Genaueres zur Implementierung kann direkt RespiG_Start.vi entnommen werden.

Abbildung 6: Schematische Darstellung des internen Aufbaus des Hauptmoduls von RespiG.

gezeigt, dass ab ca. 800 Hertz LabView (auf einem Pentium 90 MHz mit 64 MB RAM) etwas zu langsam ist und u.U. mit dem Fehler „Bufer overwritten“ die Aufzeichung stoppt. Bei 200 Hz für Respi- und und 600 Hz für EMG ist LabView aber genug schnell. Da mit der höheren Samplerate (EMG) aufgezeichnet wird, wurde verlangt, dass diese ein ganzzahliges Vielfaches (Respi_To_EMG-Faktor) der tieferen Samplerate (Respi) sein muss. Die in einem mehrdimensionalen Array eingelesenen Datenpakete werden zur Berechnung der Respi-Daten vorgängig „ausgedünnt“ („array decimate“-Funktion des Erweiterungspaketes, was mir aber nicht zur Verfügung stand). Dazu wird jeder „Respi_To_EMG-Faktor“-te Wert aus dem Ursprungsarray gelöscht (in einer For-Schleife). Eine alternative „ausgedünnte“ Indizierung wäre einiges rechenintensiver.

b) Für den Benutzer sind die zwei Statemarker als Listbox, bei welcher alle Einträge (0-9) gleichzeitig sichtbar sind, realisiert. Diese können mit der Maus selektiert werden. Als default ist 0 („kein besonderer Zustand“) markiert.

   Einziges Problem ist, dass wir den Wert des Statemarkers nicht direkt am Array der Messdaten anhängen können. Der Statemarker liefert nämlich pro Sekunde nicht soviele Werte wie die Respi-Samplerate gross ist, sondern genau einen. Somit muss ein Array in der Grösse der Respi-Samplerate mit dem aktuellen Wert des Statemarkers initialisiert werden, welches dann an das Array der Messdaten angehängt werden kann.

   Für EMG waren gemäss Aufgabenstellung keine Statemarker gefordert. Diese könnten aber leicht durch ein zweites Array in der Grösse der EMG-Samplerate erzeugt und gespeichert werden.

c) Beim Eventmarker reicht ein Wert ungleich 0 pro eingelesenem Array mit Messdaten. Deshalb kann der Wert des Eventmarkers direkt an die zu speichernden Daten angehängt werden und LabView füllt mit Nullen auf. Jeweils nach der Speicherung des Wertes wird der Eventmarker au-

tomatisch wieder auf 0 zurückgesetzt, denn es sollen nur Einzelereignisse und keine Zustände markiert werden.

d) Die Timestamps werden in RespiG_Timestamps.vi erzeugt. Der Geschwindigkeit und der sparsamen Nutzung von Speicherplatz zuliebe werden nicht z.B. 60 Minuten Timestamps vorproduziert. Es werden nur die relativen Timestamp-Inkremente einer Messsekunde berechnet. Bei 200Hz sind dies die Werte 0.000, 0.005, 0.010, 0.015, ..., 0.995. Diese werden dann zur aktuellen Zeit (in Sekunden seit Beginn der Messung, was genau dem Iterator-Terminal in der Mess-While-Schlaufe entspricht) hinzuaddiert.

e) LabView weist einige Besonderheiten im Vergleich zu imperativen Programmiersprachen wie z.B. Java oder C auf. Der wichtigste Punkt ist: In LabView werden die Anweisungen eines Programms PARALLEL ausgeführt, sofern diese nicht durch ein Programmflusskonstrukt sequentialisiert wurden.

   Die Idee dahinter ist eigentlich recht einleuchtend. LabView's Virtual Instruments (VI) werden mit der graphischen Programmiersprache G implementiert und verarbeiten simultan parallele Datenströme. Deshalb ist äusserste Aufmerksamkeit geboten, wenn z.B. auf der gleichen Ebene ein Array zuerst initialisiert und anschliessend verwendet werden soll. Die Verwendung darf erst nach der Initialisierung erfolgen (z.B. durch das Diarahmen-Sequenz-Konstrukt sicherstellen). Nun ist es aber bei globalen Variablen so, dass diese den Wert über eine Ausführung des VI's hinaus behalten und somit „erscheint" das Array beim zweiten Ausführen des VI's als korrekt initialisiert, während der erste Durchlauf mit einem Array aus lauter Nullen gearbeitet hat.

   Als weitere Besonderheit gilt in LabView, dass Variablen (egal ob lokal oder gar global), welche von ausserhalb eines Konstruktes (wie z.B. While- oder For-Schleife, Case oder Sequenz) nach innerhalb quasi durch die Wand verbunden werden, ihren Wert, den sie zu Beginn der Ausführung des Konstrukte hatten, BY VALUE an die Konstruktwand

übergeben, von wo der Wert von innerhalb des Konstruktes danach mehrfach gelesen werden kann und NICHT mehr erneut von aussen geholt wird. Wer diese Eigenheit missachtet, wird einige „unerklärliche“ Effekte erleben. Globale Variablen müssen deshalb statt durch die Wand verbunden, direkt als Referenz (Symbole „local“ bzw. „global“ im gleichen Menü wie die Konstrukte) innerhalb des Konstrukts platziert werden.

LabView bietet einen recht praktischen Einzelschritt-Modus (Glühbirnen-Symbol). Dieser erlaubt ein Debugging des Codes, wobei die Ausführung und der Datenfluss visuell angezeigt werden. Wenn bei Continuous Scan im Einzelschritt-Modus plötzlich Fehler wie "Invalid driver - card not configured with NI-DAQ", "No more memory" oder "Buffer overwritten" auftreten, dann liegt dies daran, dass durch die stark verlangsamte Ausführung das zeitgerechte Einlesen des zweiten Messdaten-Arrays „verschlafen“ wird und die Messdaten der zweiten und weiterer Sekunden einen vollen Buffer vorfinden. Die Datenakquisition findet bei Continuous Scan nämlich trotz Einzelschritt-Modus in Realtime statt.

Die Fehlermeldungen sieht man jedoch nur, wenn man den "error output" von "Continuous Scan“ zu einem Error Handler verdrahtet hat. Ohne dieser Verdrahtung kommt es zu den merkwürdigsten Effekten (wie z.B. 0x125324724-dimensionalen Matrizen, die eingelesen werden oder "no more memory"-Error und Absturz von LabView).

f) Ab und zu kommt es vor, dass alle Inputsignale eine sehr schnelle Schwingung (+/- 0.25V) ausführen. Das Signal wirkt "verzittert". Dies tritt v.a. auf, wenn die angeschlossenen Geräte ein- oder ausgeschaltet werden und kann einige Zeit andauern.

Werden die Geräten nicht an den gleichen Stromkreis (oder zumindest nicht direkt an die gleiche Strom-Steckleiste) wie der Computer angeschlossen, was zu einer sogenannte „Brummschlaufe“ führen kann,) so tritt diese schnelle Schwingung nur noch auf unverbundenen Kanälen auf (wo es keine Rolle spielt). Mittels Spektralanalyse in MATLAB konnte diese schnelle Schwingung auf eine Störung bei 50 Hz lokalisiert werden.

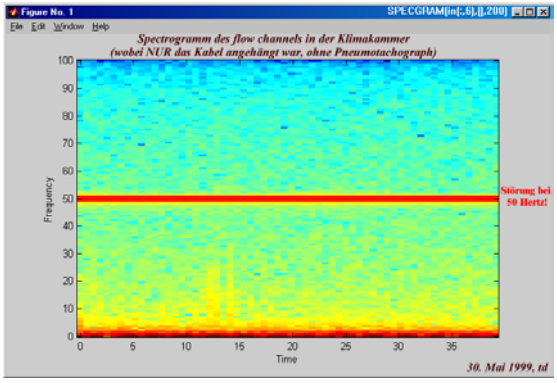


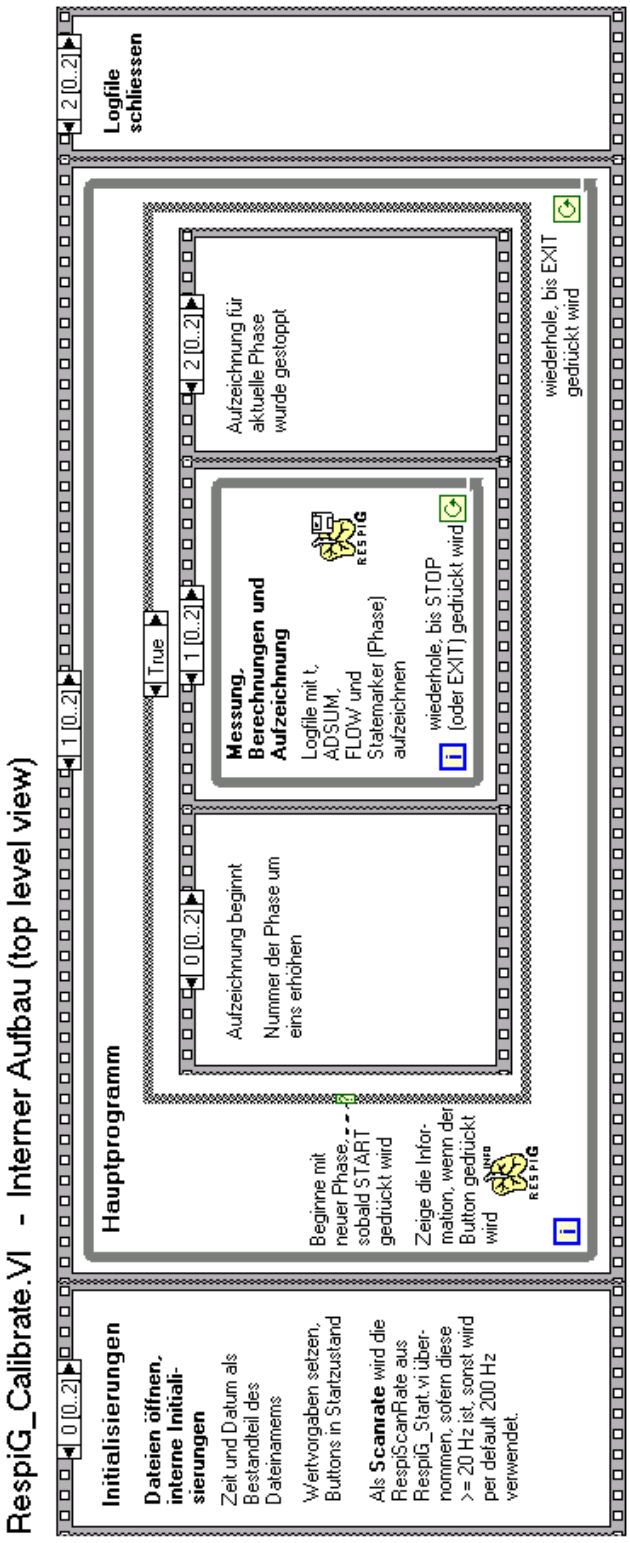
Abbildung 7: Spektrogramm der Störung (Brummschleife)

5.2.4 RespiG – Kalibrierung (LabView)

Obwohl man denken könnte, die Kalibrierungsmessungen würden einfacher ausfallen, als das Hauptmodul, ist der Kontrollfluss hier etwas anspruchsvoller. Es wird in mehreren (automatisch inkrementierten) Phasen aufgezeichnet. Die Grundideen sind jedoch die gleichen wie im Hauptmodul.

5.2.5 RespiG Cal (MATLAB)

Ziel von RespiG Cal ist das Bestimmen eines Umrechnungsfaktors b von ADSUM %Vt (Respitrace PLUS) nach Vt (integrierter FLOW). Mit Hilfe eines solchen Faktors b kann auf eine (Atemmuster beeinträchtigende) FLOW-Messung zusätzlich zu ADSUM %Vt während des Versuchs verzichtet werden. In der späteren Auswertung können allein aus dem ADSUM %Vt die Atemvolumina in mL berechnet werden. Überblick gibt Abbildung 8.


RespiG_Calibrate.VI - Interner Aufbau (top level view)
0 [0..2]
Initialisierungen
Dateien öffnen, interne Initialisierungen
Zeit und Datum als Bestandteil des Dateinamems
Wertvorgaben setzen, Buttons in Startzustand
Als Scanrate wird die RespiScanRate aus RespiG_Start.vi übernommen, sofern diese >= 20 Hz ist, sonst wird per default 200 Hz verwendet.
1 [0..2]
Hauptprogramm
True
0 [0..2]
Aufzeichnung beginnt
Nummer der Phase um eins erhöhen
1 [0..2]
Messung, Berechnungen und Aufzeichnung
Logfile mit t, ADSUM, FLOW und Statemarker (Phase) aufzeichnen
wiederhole, bis STOP (oder EXIT) gedrückt wird
Beginne mit neuer Phase, sobald START gedrückt wird
Zeige die Information, wenn der Button gedrückt wird
2 [0..2]
Aufzeichnung für aktuelle Phase wurde gestoppt
wiederhole, bis EXIT gedrückt wird
2 [0..2]
Logfile schliessen

Pseudo-G Legende

-**Diarahmen:**

Sequenzkonstrukt. Reihenfolge gemäss Nummer am oberen Rand: <aktueller> [<erster> .. <letzter>] Block

-**Graue Pfeile**:

Genaueres zur Implementierung kann direkt RespiG_Start.vi entnommen werden.

Abbildung 8: Schematische Darstellung des internen Aufbaus von RespiG Kalibrierung.

5.2.5.1 Hinweise zur Implementierung

RespiG Cal wird in Matlab mit **`respigcal`** gestartet und führt dann interaktiv durch die Kalibrierung. Bei jedem Teilschritt wird eine Statusinformation ausgegeben.

RespiG Cal besteht intern aus vier Modulen (Matlab m-Files):

respigcal.m	Hauptprogramm (Dateihandling, Userinterface und Plots)
respigglobal.m	Globale Variablen
respigaggr.m	Aggregations-Berechnungen. U.a. Min/Max-Algorithmus und Spike-Elimination.
respiglinreg.m	Lineare Regressionsberechnungen.

Es gab bei RespiG Cal etliche Herausforderungen zu meistern:

a) Die analogen Signale sind mit Fehlern behaftet und weisen teilweise Spikes („kurze grosse Sprünge“ im Signalverlauf) auf.

b) Aus dem ADSUM %Vt-Signal müssen Atemzüge (genauer: Inspirationsvolumina) bestimmt werden. Dies hat sich als recht trickreich herausgestellt.

c) Das FLOW-Signal muss integriert werden für eine Eichung.

d) Es muss eine Methode für die Bestimmung des Umrechnungsfaktors gefunden werden, bei der ein Mass für die Unsicherheit des Resultates angegeben werden kann.

e) Der Benutzer sollte eine Möglichkeit haben, zu erkennen, ob seine Daten korrekt ausgewertet wurden.

f) ADSUM und FLOW stimmen zeitlich nicht immer exakt überein in der Länge der Atemzüge, da es sich um verschiedene Messmethoden handelt. Es muss eine sinnvolle Variante für den Abgleich gefunden werden.

g) Die Auswertung sollte innert nützlicher Frist durchführbar sein.

Lösungen:

a) Während der Suche nach Atemzügen wird eine Spike-Elimination durchgeführt (respigaggr.m):

Die Messwerte beider Signale (integrierter Flow und ADSUM) werden während der Aggregation auf Spikes untersucht und diese gegebenenfalls eliminiert durch Überschreiben mit dem Wert vor dem Sprung im Signal. Die Variable „isSpike“ ist 0 zu Beginn. Sobald nun ein delta > spikeDelta zwischen dem letzten und aktuellem Messwert entdeckt wird, setzt man „isSpike“ auf 1. Der jeweils aktuelle Messwert wird danach solange mit dem Messwert vor dem Spike überschrieben, bis ein delta < noSpikeDelta zwischen dem aktuellen Messwert und demjenigen vor dem entdeckten Spike entdeckt wird. Danach wird das Signal wieder unverändert an die Aggregation weitergegeben.

Die Spike-Elimination entdeckt zwar nur extreme Spikes, doch hat sich dies als genügend erwiesen. Ohne Spike-Elimination würde der Min/Max-Algorithmus etliche Spikes als Minimum oder Maximum im Signal „erkennen“, was eine korrekte Bestimmung von Atemvolumina verhindern würde.

Beim Setzen der Werte spikeDelta und noSpikeDelta muss beachtet werden, dass ein zu kleines spikeDelta dazu führen kann, dass das Messsignal auch dort überschrieben wird, wo nur schnelle Atemzüge stattgefunden haben und gar keine Spikes. Ein zu kleines noSpikeDelta kann katastrophale Auswirkungen auf das Messsignal haben, da ein Spike, der in mehreren Schritten schnell nach oben und danach in einem Schritt sehr schnell nach unten ausschläggt zu einem permanenten Überschreiben der Nachfolgemesswerte führen kann, da der „vor-spike“-Messwert zu weit vom aktuellen Messwert weg ist, um ein Zurückkehren zu erlauben. Das Messsignal würde dann konstant überschrieben und dadurch unbrauchbar.

b) Zur Bestimmung der Atemzüge wurde ein Min/Max-Algorithmus entwickelt, welcher lokale Minima und Maxima in bestimmten Schranken und Nebenbedingungen findet. Dieser wurde auch probehalber mit LabView in aufwendiger Kleinarbeit erstellt. Es hat sich aber gezeigt, dass LabView viel zu unflexibel ist, um den Algorithmus auszutesten oder gar verschiedene Variante durchzuspielen und vernünftig zu visualisieren. Zusätzlich wird durch die Realtimeberechnungen auch noch die maximal mögliche Samplerate verringert, da LabView sich sonst überfordert. Deshalb wurde der Algorithmus in MATLAB programmiert.

Damit man eine Idee hat, um welche Art von Signal es sich handelt und worauf zu achten ist, dient folgender Ausschnitt aus dem Flow-Signal (Abbildung 9):

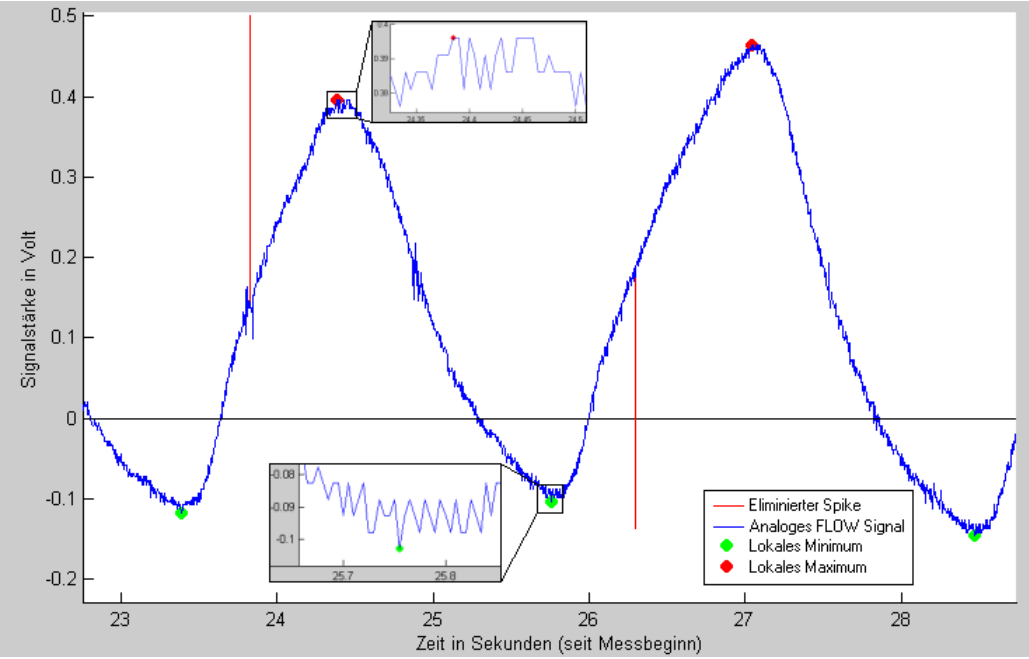


Abbildung 9: Analoges Flow-Signal, auf welches der Min/Max-Algorithmus erfolgreich angewendet wurde

Es wurden verschiedenste Ansätze ausprobiert, wobei nur der hier beschriebene als praxistauglich und fehlertolerant erwiesen hat:

5.2.5.2 In RespiG Cal verwendeter MinMax-Algorithmus

Es musste nun ein Ansatz gefunden werden, welcher garantierte, dass Minima und Maxima in abwechselnder Folge gefunden werden und zusätzlich, dass sich der Algorithmus nicht von kurzzeitigen Schwankungen im Signal irritieren lässt.

Der MinMax-Algorithmus arbeitet in zwei Modi und benutzt provisorische Minima und Maxima.

Als Initialisierung wird +Unendlich (maximaler darstellbarer Wert im Datentyp) als das provisorische Minimum und der Modus auf findMAX = 1 gesetzt.

findMAX = 1:

Wir besitzen bereits ein provisorisches Minimum minProv und betrachten die Messwerte des spike-bereinigten Signals. Wir suchen nach einem provisorischen Maximum maxProv, das ein delta > Threshold (delta := aktueller Messwert – minProv) aufweist. Der Threshold stellt sicher, dass kleinere Signalschwankungen zu keiner irrtümlichen Detektion eines Extremas führen. Wenn nun aber statt ein maxProv ein noch besseres Minimum gefunden wird, so wird selbstverständlich dieses verwendet für die weitere Suche. Wenn endlich ein maxProv gefunden wird, so können wir das minProv definitiv erklären und abspeichern (Wert und Zeitpunkt). Immer wenn wir ein neues Minimum finden, weches nicht das allererste (<> Unendlich) ist, berechnen wir die Atemzugdaten.

Für findMAX = 0 ist das Vorgehen analog. Es werden jedoch keine Atemzugdaten berechnet oder abgespeichert.

5.2.5.3 Kritische Analyse des Ansatzes

Der MinMax-Algorithmus hat sich in der Praxis bei etlichen Messungen sehr bewährt. Einzig das Setzen des Thresholds muss mit Vorsicht gemacht werden, da bei zu grossem Threshold zu wenig und bei zu kleinem Threshold zu viele Minima und Maxima gefunden werden. Bei FLOW kann der Threshold kleiner gewählt werden als bei ADSUM, da ADSUM grössere Signalschwankungen (Störungen) und ein stärkeres Signal (Intensität) aufweist als FLOW.

Der Algorithmus ist recht effizient und benutzt keine Zeitschranken, kann aber dennoch deltas über mehrere Messwerte berechnen.

c) Die Integration des FLOW-Signals erfolgt in einer For-Next-Schleife mit einer Zeile MATLAB-Code. Es muss dabei der negative FLOW als Einatmung (positives Volumen) interpretiert werden, wodurch sich das – statt eines erwarteten + erklärt. (2)

```
out(n,1) = out(n-1,1) - in(n-1,3)*dt; % dt = 1/Scanrate
```

d) Damit der Benutzer eine Möglichkeit hat, zu erkennen, ob seine Daten korrekt ausgewertet wurden, wird die letzte Phase der zuletzt für die Ka-

librierung eingelesenen Datei geplottet (ADSUM und integrierter FLOW inklusive detektierte Minima und Maxima).

e) Da ADSUM und FLOW zeitlich nicht immer exakt übereinstimmen in der Länge der Atemzüge, da es sich schliesslich um verschiedene Messmethoden handelt, wurde pragmatisch das eine Messsignal (Vt zu [2]FLOW) als Referenzsignal verwendet. An allen Zeitpunkten, an welchen bei Vt (integrierter FLOW) ein Extrema detektiert wird, wird der entsprechende Wert von ADSUM auch als Extrema ausgewiesen. Diese Methode hat eine recht hohe Trefferquote.

Die Gründe für die zeitlichen Abweichungen der beiden Signale liegen in den Messmethoden begründet:

Respitrace PLUS (RIP) misst das Lungenvolumen unter Verwendung des 2 Kammermodels und misst hauptsächlich das Brustvolumen. Das am besten RIP entsprechende Messgerät ist der Vollkörper Plethysmograph. Ähnlich gut stimmen Volumen-Spirometer (mit beweglichem Kolben) mit RIP überein, das gemäss Hersteller (FAQ 1998) in etwa

---

[2] Der Hersteller NIMS von Respitrace PLUS bekräftigt (FAQ about NIMS 1998), dass das absolute Volumen mit ADSUM %Vt linear zusammenhängt. Barreto et al (1998) wird vorgeschlagen, dabei multidimensionale lineare Regression zu verwenden und neben einem FLOW-Signal auch noch die Zeit mehrfach einzubeziehen. Nach genauem Studium von Barreto et al (1998) hat sich aber ergeben, dass die Zeit erstens falsch einbezogen wurde (Bem. Die Pre-Kalibrierungen dauern bei Barreto gesamthaft ca. 11 Minuten in der Berechnung werden diese aber als alle in Minute 0 geschehen verwendet. Ebenso die Post-Kalibrierungen in Minute 90) und zweitens nur einen minimalen Korrekturfaktor von 5 ml ausmacht. Somit wird darauf verzichtete und die eindimensionale lineare Regression zur Bestimmung des **Umrechnungsfaktor**s von **ADSUM %Vt nach Vt** (integrierter FLOW) herangezogen.
Mit respigaggr.m werden die Spikes aus dem Signal eliminiert, danach die Atemzüge aggregiert, wobei FLOW als Referenzsignal für die Min/Max-Bestimmung verwendet wird. Von den erhaltenen Atemzügen aller Kalibrierungsphasen werden `Ignore_Extreme_Breaths_Percentage` Prozent der grössten und kleinsten Atemzüge verworfen von (FLOW und ADSUM), um mögliche Messfehler zu eliminieren. Danach wird ADSUM %Vt gegen Vt (integrierter FLOW) geplottet und mit linearer Regression die Regressionsgeraden zu den Pre-, Post- und Overall-Messungen berechnet und eingezeichnet.
[2]Als **Gütemass** für den erhaltenen Umrechnungsfaktor dient das Quadrat des empirischen Korrelationskoeffizienten r^2 der linearen Regression. Bei $r^2 = 1$ wäre die lineare Übereinstimmung perfekt. Bei $r^2 > 85\%$ für die Pre-Kalibrierung und $r^2 > 80\%$ für die Post-Kalibrierung wird die Messgenauigkeit als genügend ausgewiesen und der Umrechnungsfaktor wird in eine „.cal“-Datei für RespiG Conv abgespeichert.

zwischen die beiden erwähnten Messgeräte fällt. Pneumotachographen und „Spirometer“, welche den integriertem Luftfluss verwenden, haben den grössten eingebauten Messfehler oder vielleicht besser Nicht-Übereinstimmung zu RIP. Leider sind aber genau diese zwei die praktischsten Alternativen zu RIP, wenn kontinuierliche Volumenmessungen durchgeführt werden müssen.

Verschiedene Gründe für Abweichungen in den Messungen sind:

-Die Maske zur FLOW-Messung dichtet nicht oder deckt die Nase nicht ab (Nasen-Klammer!).

-Respitrace PLUS misst Lungenvolumen, während die anderen Geräte den Luftfluss messen. Somit wird nur von RIP ein Entweichen der Luft durch ein defektes Trommelfell detektiert.

-Restluft in den Wangen oder im Gaumen wird beim FLOW nicht gemessen.

-Ein Wechsel der Körperhaltung des Probanden (z.b. stehend statt liegend) verändert die Bewegungen der Bänder von RIP um bis zu 20% (wenn liegend kalibriert und danach aufrecht stehend gemessen).

-Starke Luftkomprimierung durch starke Atmung bei sehr hoher Anstrengung sind vom zwei Kammermodel der Lunge nicht erfasst und führen zu Fehlmessungen

-Veränderungen in der umschlossenen Fläche der RIP-Bänder erzwingen eine Neukalibrierung von RIP

f) Die Auswertung sollte innert nützlicher Frist durchführbar sein.

MATLAB 5.0 bietet die Möglichkeit, den interpretierten Code zu compilieren. Jedoch ist der Compiler noch mehr ein Prototyp als ein ausgereiftes Produkt und einige Funktionen werden noch nicht unterstützt. Es wäre aber denkbar, zeitkritische Teile der Berechnungen zu kompilieren (und danach intensiv zu testen). Die Auswertung von 29'000 Messungen, welche mit 200 Hz in 145 Sekunden in total 4 Kalibrierungsphasen aufgezeichnet wurden, dauert (ohne compilierte m-Files, alles interpretiert) auf einem Pentium II 400 MHz inklusive Plots ca. 50 Sekunden.

5.2.6 RespiG Conv (MATLAB)

5.2.6.1 Umrechnungsfaktor für Flow

Da wir den FLOW an der analogen Schnittstelle des Pneumotachographen CPX/D nur in Volt messen können und weder das Manual (vgl. [4]) noch der Firmenvertreter zum CPX/D Auskunft geben konnten über die Umrechnung von Volt nach Milliliter, musste der Faktor FLOW_V_to_ML von uns durch Eichungsmessungen selbst bestimmt werden. Dazu wurde eine geeichte 3 Liter-Spritze verwendet, mit der wir nach interner Kalibrierung von CPX/D mehrere Atemzüge simulierten und anschliessend in MATLAB auswerteten.

Wie aus dem Diagramm ersichtlich, macht es keinen Sinn, einen Faktor für die absolute Umrechnung von Volt nach Milliliter anzugeben. Der integrierte Flow (d.h. das 3 Liter-Atemzugvolumen) variiert dazu zu stark. Deshalb wurde mittels des für RespiG Cal entwickelten Min/Max-Algorithmus die lokalen Minima und Maxima bestimmt (vgl. rote und grüne Punkte in Abbildung 10) und danach die Inspirationsvolumina berechnet (Aggregation aus respigaggr.m). Der erste Atemzug wurde verworfen, da dieser zu stark von den anderen 13 abwich. Dann wurde der Mittelwert der 13 Inspirationsvolumina zu 1.6069 Volt bestimmt bei einer Standardabweichung von 0.0024 Volt. Somit kann der Faktor als 3000 Milliliter / 1.607 Volt = 1866.83 berechnet werden. Ein Inspirationsvolumen dV_I (aus dem integrierten FLOW) von beispielsweise 0.429 Volt entspricht somit 800.87 Milliliter.

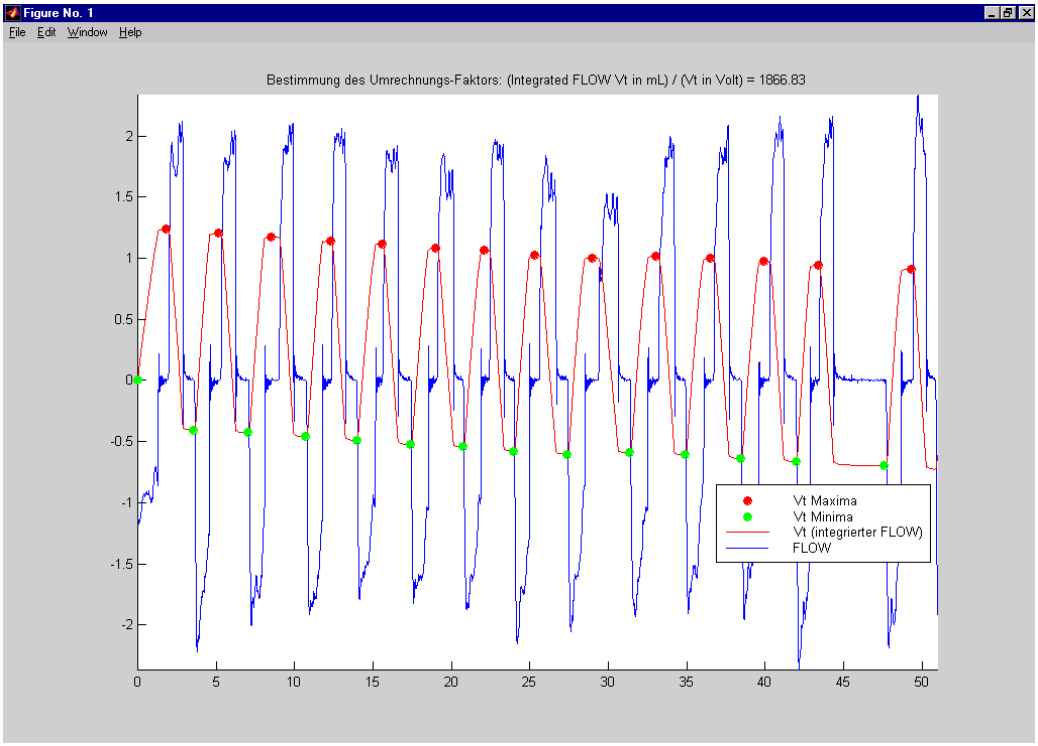


Figure No. 1
File Edit Window Help
Bestimmung des Umrechnungs-Faktors: (Integrated FLOW Vt in mL) / (Vt in Volt) = 1866.83
Vt Maxima
Vt Minima
Vt (integrierter FLOW)
FLOW

Abbildung 10: Bestimmung des Umrechnungsfaktors für FLOW von Volt nach Milliliter

5.3 Ablauf eines Versuches

Es folgt eine detaillierte Darstellung des Versuchsablaufs:

Messgeräte- und Pre-Kalibrierung RespiG

1. Datenkabel des Computers mit RespiG an die **analogen** Schnittstellen der medizinschen Geräte anschliessen.

2. **Pneumotachograph** 30 min vor Kalibrierungsbeginn einschalten. Eichung mit Gasgemischflasche (5% CO_2, 15% O_2 und 80% NO_2) und 3 Liter-Spritze durchführen.

3. Beide Bänder von **Respitrace PLUS** (und ev. auch die Elektroden) an den Probanden in der geplanten Versuchsposition anschliessen. Gerät einschalten und ca. 5 Minuten warten, bis „CAL“ aus der Anzeige verschwindet und somit die interne Kalibrierung abgeschlossen ist.

4. **Computer** mit RespiG **einschalten**.

5. Dem Probanden die **Maske für** die **FLOW**-Messung anziehen.

6. RespiG (LabView) starten und wenn nötig die Einstellungen für Scanrate und aufzuzeichnende Logfiles anpassen.

7. Mit „Kalibrierung ...“ die **RespiG Kalibrierung** (LabView) starten. Ca. 4 **Pre-Kalibrierungsphasen** mit kurzen Pausen dazwischen durchführen gemäss Anleitung am Bildschirm. **VOR** JEDEM **MESSBEGINN AUSATMEN**. Danach RespiG Kalibrierung mit **EXIT** beenden.

8. Wer will, kann nun sofort die Pre-Kalibrierungsdaten mit **„RepiG Cal“** (MATLAB) analysieren. Dies kann aber auch erst nach der Post-Kalibrierung erfolgen. Wenn der FLOW während des Versuches nicht aufgezeichnet werden soll, **Maske für FLOW**-Messung jetzt **entfernen**.

Versuch

9. In **„RespiG – Atemmuster-Messungen“** mit **START** die **Aufzeichnung** des Versuchs starten. Den Versuch (alle Phasen) durchführen und bei Phasenwechsel die Statemarker oder bei Einzelereignissen die Eventmarker mit der Maus setzen.

10. Bei Versuchsende in **„RespiG – Atemmuster-Messungen“** die **Aufzeichnung** mit **STOP** beenden.

Post-Kalibrierung RespiG

11. Dem Probanden die **Maske für** die **FLOW**-Messungen anziehen, sofern diese nicht bereits im Versuch benutzt worden ist

12. Mit „Kalibrierung ...“ die **RespiG Kalibrierung** (LabView) starten. Ca. 4 **Post-Kalibrierungsphasen** mit kurzen Pausen dazwischen durchführen gemäss Anleitung am Bildschirm. **VOR** JEDEM **MESSBEGINN AUSATMEN**. Danach RespiG Kalibrierung mit **EXIT** beenden.

13. Proband von den medizinischen Messgeräten trennen.

14. Pre- und Post-Kalibrierungsdaten mit **„RespiG Cal“** (MATLAB) auswerten, um den Umrechnungsfaktor ADSUM %Vt zu Vt (integrierter FLOW) zu finden (*.cal).

Auswertung

15. Respidaten (*.lor) mit „RespiG Conv“ zu Atemzugdaten (*.loa) aggregieren

Abbildung 11: RespiG – Atemmuster-Aufzeichnung (LabView virtual instrument)

5.3.1 Interne Kalibrierung von RespiG

Der Pneumotachograph sollte mindestens eine halbe Stunde vor Kalibrierungsbeginn eingeschaltet werden. Bei Messungen von Sauerstoffverbrauch dauert die Kalibrierung etwas länger und es wird zusätzlich eine Gasgemischflasche mit 5% CO_2, 15% O_2 und 80% NO_2 benötigt. RespiG misst jedoch ausschliesslich den FLOW ohne Angaben über Sauerstoffverbrauch. Für die Volumenkalibrierung der FLOW-Messung wird eine geeichte 3 Liter-Spritze verwendet (vgl. Medical Graphics Corporation Manual 1993).

Respitrace PLUS wird erst eingeschaltet, nachdem die angeschlossene Versuchsperson diejenige Position, in welcher die Messungen stattfinden werden, eingenommen hat. Während 5 Minuten berechnet RespiG mittels statistischer Analysen (sogenannter QDC – qualitative diagnostic calibration), wie stark die einzelnen Bewegungen der zwei Bänder zu den Volumenverschiebungen beitragen. Anschliessend entspricht 100% Vt des ADSUM Signals dem durchschnittlichen Atemvolumen während der Kalibrierungszeit. Die zwei Anteile RC (rip cage) und AB (abdominal) sind entsprechend verstärkt oder abgeschwächt. Am analogen Ausgang entpricht 100% Vt exakt 0.4 Volt nach der Kalibrierung (vgl. NIMS Manual 1995).

5.3.2 Kalibrierung von RespiG

Eine Kalibrierung von RespiG ermöglicht die Umrechnung von ADSUM %Vt-Messwerten (Repitrace PLUS) auf absolute Volumina in Milliliter. Dazu werden in mehreren Kalibrationsphasen bei den Atembewegungen sowohl FLOW (mittels des Pneumotachographen CPX/D) wie auch ADSUM gemessen. Anschliessend kann daraus unter Verwendung von linearer Regression ein Umrechnungsfaktor von %Vt nach Vt ermittelt werden. Zusätzlich kann bei eine Kalibrierung VOR und NACH der eigentlichen Messung festgestellt

werden, ob sich die Respitrace PLUS-Bänder verschoben haben und die Messungen deshalb verworfen werden müssen. (Abbildung 12).

Wird der Umrechnungsfaktor und die Messüberprüfung nicht benötigt, so kann die RespiG-Kalibrierung weggelassen werden. Sie hat keinen Einfluss auf die Aufzeichnung der Roh-Messdaten mit RespiG. Der Umrechnungsfaktor wird erst anschliessend an die Aufzeichnung in der

Auswertung und Aggregation der Messdaten (mit MATLAB) verwendet.

Es ist wichtig, dass diese Kalibrierung bei jedem Versuch separat erfolgt. Die Messsignale der Respitrace PLUS Bänder sind je nach Position, Spannung und Versuchsperson unterschiedlich. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass bei der gleichen Person an verschiedenen Tagen aber gleichem Versuch der Umrechnungsfaktor übereinstimmt und deshalb nicht neu ermittelt werden müsste.

5.3.3 RespiG – Atemmuster-Messungen (LabView)

Die Bildschirmmaske des Hauptmoduls „RespiG – Atemmuster-Messungen“ (vgl. Abbildung Abbildung 5) weist verschiedene interaktive Elemente auf.

5.3.3.1 Buttons

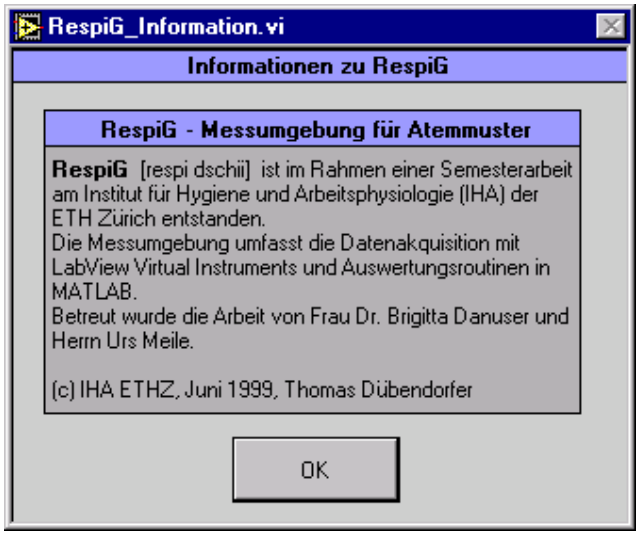
Die **Buttons** bewirken folgendes:

Die **Aufzeichnung** wird **gestartet**. Vorgängig wird nach den zu verwendenden Dateinamen für die Messdaten gefragt. Je nach Einstellungen werden nur **Respidaten** (Respitrace PLUS und Pneumotachograph CPX/D) oder auch **EMG-Daten** in verschiedene Dateien aufgezeict. Die angegebenen Dateien werden vorgängig gelöscht, um keine alten und neuen Messdaten zu vermischen. Die mitprotokollierte Zeit startet am Aufzeichnungsbeginn jeweils bei 0 Sekunden.

Während die **Aufzeichung** läuft, kann jederzeit mit STOP der Messvorgang **beendet** werden.

Wichtig: Die Messung kann erneut gestartet werden, jedoch werden die Messdaten in neu anzugebende Dateien geschrieben und NICHT hinten an bestehende Daten einer früheren Aufzeichnung angehängt.

Allgemeine Informationen zu RespiG:


RespiG_Information.vi
Informationen zu RespiG
RespiG - Messumgebung für Atemmuster
RespiG [respi dschii] ist im Rahmen einer Semesterarbeit am Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie (IHA) der ETH Zürich entstanden.
Die Messumgebung umfasst die Datenakquisition mit LabView Virtual Instruments und Auswertungsroutinen in MATLAB.
Betreut wurde die Arbeit von Frau Dr. Brigitta Danuser und Herrn Urs Meile.
(c) IHA ETHZ, Juni 1999, Thomas Dübendorfer
OK

Es öffnet sich eine Dialogbox, in welcher angekreuzt werden kann, **welche Daten** (Respidaten, EMG-Daten vgl. „Format der Logfiles“) **aufgezeichnet** werden sollen.

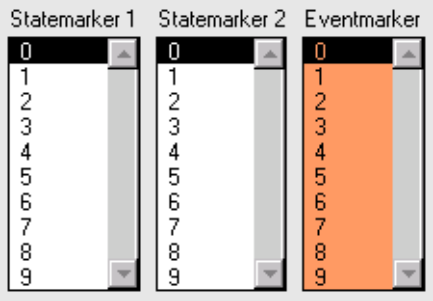
Ebenfalls kann die Messgeschwindigkeit (Scanrate) von Respi- und EMG-Daten eingestellt werden. In der Regel werden EMG-Daten schneller als Respidaten aufgezeichnet.

Bemerkung: Wird für die EMG-Daten eine zu schnelle Aufzeichnungsrate eingestellt, so kann es in LabView zur Fehlermeldung „Buffer overwritten“ kommen. Dies deutet darauf hin, dass LabView zu langsam ist, um alle Daten korrekt einzulesen, anzuzeigen und abzuspeichern. Als Massnahme sollte die Aufzeichnungsrate verringert oder ein schnellerer Computer benutzt werden (vgl. National Instruments Manual 1998)).

Die Kalibrierung öffnet ein separates „Virtual Instrument“ in LabView, das zur Aufzeichnung von Atemdaten in mehreren Kalibrierungsphasen dient. Diese Daten können anschliessend

mit RespiG Cal ausgewertet werden.

5.3.3.1.1 State und Eventmarker



Die Einstellungen dieser Marker werden ebenfalls mitaufgezeichnet. Sie dienen der Markierung von Zuständen (States) und Einzelereignissen (Events). Die Belegung der Zahlen mit Bedeutungen wird sich in der Regel von Versuch zu Versuch unterscheiden und muss separat festgehalten werden.

Zustand 0 bedeutet „kein besonderer Zustand oder kein Ereignis“. Es empfiehlt sich, Statemarker 1 für Markierung der Phasen des Gesamtversuchs und Statemarker 2 für Unterteilungen innerhalb der jeweiligen Phase zu verwenden.

Die unabhängigen Statemarker behalten ihren Zustand solange, bis mit der Maus ein anderer Wert angeklickt wird. Der Eventmarker springt nach Speicherung des Einzelereignisses (auf 1 Sekunde genau) automatisch wieder auf 0 zurück und muss somit nicht manuell zurückgesetzt werden.

5.3.3.2 RespiG Kalibrierung (LabView)

Der Ablauf der Kalibrierung ist unten auf der Bildschirmmaske detailliert erklärt (Abbildung 12)

Sobald diese Bildschirmmaske „RespiG Kalibrierung“ geöffnet wird (Button „Kalibrierung...“ in „RespiG – Atemmuster-Messungen“), muss eine Datei für

die Kalibrierungs-Messdaten angegeben werden. Mit START wird danach die Aufzeichnung einer neuen Phase gestartet und mit STOP beendet. Mit EXIT (kein vorheriges STOP nötig) kann die Kalibrierung abgeschlossen werden.

Wichtig: Vor Messbeginn ALLE Luft ausatmen. Dies garantiert, dass der erste Atemzug jeder Phase eine Inspiration ist. Wird diese Regel missachtet, so kann die Kalibrierung u.U. fehlschlagen.

Man ist frei, mehr oder weniger als 4 Phasen durchzuführen; es sind beliebig viele möglich. Auch die Zeitdauer der einzelnen Phasen und Pausen ist frei. In der Kalibrierung werden alle aufgezeichneten Phasen verwendet. Sinnvoll ist jedoch, das ganze Spektrum an Atemzügen, das während des Versuches erwartet wird, durchzuspielen mit jeweils ca. 12 Atemzügen pro Phase.

Es empfiehlt sich, sowohl **VOR** als auch **NACH jedem Versuch eine Kalibrierung** durchzuführen. Erstens kann somit der Umrechnungsfaktor von ADSUM %Vt nach Vt exakter bestimmt werden, da mehr Atemzüge vorliegen. Zweitens kann die Zuverlässigkeit der Messungen festgestellt werden und z.B. ein Verrutschen der Bänder von Respitrace PLUS entdeckt werden.

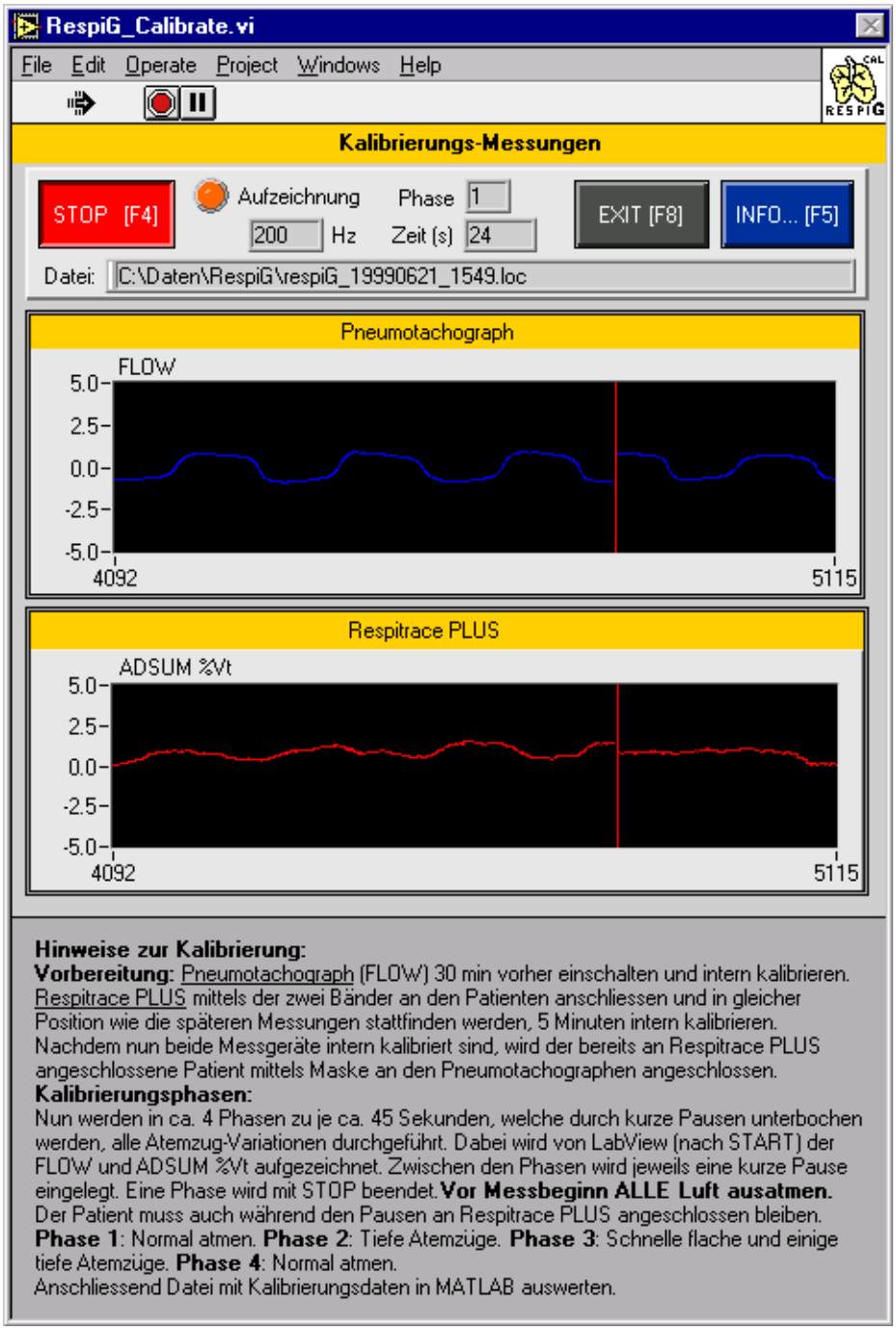

RespiG_Calibrate.vi
File Edit Operate Project Windows Help
Kalibrierungs-Messungen
STOP [F4]
Aufzeichnung
Phase 1
200 Hz
Zeit (s) 24
EXIT [F8]
INFO... [F5]
Datei: C:\Daten\RespiG\respiG_19990621_1549.loc
Pneumotachograph
FLOW
5.0
2.5
0.0
-2.5
-5.0
4092
5115
Respitrace PLUS
ADSUM %Vt
5.0
2.5
0.0
-2.5
-5.0
4092
5115
Hinweise zur Kalibrierung:
Vorbereitung: Pneumotachograph (FLOW) 30 min vorher einschalten und intern kalibrieren.
Respitrace PLUS mittels der zwei Bänder an den Patienten anschliessen und in gleicher Position wie die späteren Messungen stattfinden werden, 5 Minuten intern kalibrieren.
Nachdem nun beide Messgeräte intern kalibriert sind, wird der bereits an Respitrace PLUS angeschlossene Patient mittels Maske an den Pneumotachographen angeschlossen.
Kalibrierungsphasen:
Nun werden in ca. 4 Phasen zu je ca. 45 Sekunden, welche durch kurze Pausen unterbochen werden, alle Atemzug-Variationen durchgeführt. Dabei wird von LabView (nach START) der FLOW und ADSUM %Vt aufgezeichnet. Zwischen den Phasen wird jeweils eine kurze Pause eingelegt. Eine Phase wird mit STOP beendet. Vor Messbeginn ALLE Luft ausatmen.
Der Patient muss auch während den Pausen an Respitrace PLUS angeschlossen bleiben.
Phase 1: Normal atmen. Phase 2: Tiefe Atemzüge. Phase 3: Schnelle flache und einige tiefe Atemzüge. Phase 4: Normal atmen.
Anschliessend Datei mit Kalibrierungsdaten in MATLAB auswerten.

Abbildung 12: RespiG-Kalibrierungsfenster

5.3.3.3 RespiG Cal (MATLAB)

Wenn die Kalibrierung mit „RespiG Kalibrierung (LabView)“ abgeschlossen wurde, kann bei Bedarf sofort die Auswertung der Kalibrierung durchgeführt werden. In der Regel wird die Auswertung erneut vorgenommen, nachdem die zweite Kalibrierung nach Versuchsende ebenfalls vorliegt.

5.3.3.3.1 Vorgehen

1. Matlab starten

Doppelklick auf das Icon von Matlab.

2. RespiG Cal starten

Eintippen von „**respigcal**“ in Matlab und Drücken von return.

3. RespiG Cal fragt nun nach einer Pre- und einer Post-Kalibrierungsdatei

Die Pre-Kalibrierungsdatei muss zwingend angegeben werden. Diese wurde in RespiG Kalibrierung (LabView) aufgezeichnet vor dem Beginn des eigentlichen Versuches.

Die Post-Kalibrierungsdatei (Aufzeichnung nach Versuch) kann ebenfalls angegeben werden, ist aber nicht erforderlich. Soll diese nicht in die Kalibrierungsberechnungen einfliessen, so kann im „Datei öffnen“-Dialog auf „Abbrechen“ gedrückt werden.

4. RespiG rechnen lassen

Während RespiG die Kalibrierungsdaten analysiert, wird vor jedem Teilschritt eine kleine Statusmeldung ausgegeben, um den Fortschritt anzuzeigen. Die Gesamtdauer der Kalibrierung ist abhängig von der Anzahl Messungen (und diese wiederum von der Messgeschwindigkeit und Messdauer).

Beispiel von Statusmeldungen (MATLAB):

```
» respigcal
status =
PRE-Kalibrierungsdatei C:\Daten\RespiG\respiG_19990622_0750.loc einlesen
...
status =
Verarbeite Respidaten von 29000 Messungen, welche mit 200 Hz in 145 Se-
kunden aufgezeichnet wurden
status =
FLOW zu Vt integrieren (Phase 1 von 4)...
status =
Aggregation von Vt (aus FLOW) und %Vt (ADSUM) (Phase 1 von 4) ...
status =
12 Atemzüge detektiert in Phase 1 von 4 ...
```

```
status =
FLOW zu Vt integrieren (Phase 2 von 4)...
status =
Aggregation von Vt (aus FLOW) und %Vt (ADSUM) (Phase 2 von 4) ...
status =
9 Atemzüge detektiert in Phase 2 von 4 ...
status =
FLOW zu Vt integrieren (Phase 3 von 4)...
status =
Aggregation von Vt (aus FLOW) und %Vt (ADSUM) (Phase 3 von 4) ...
status =
10 Atemzüge detektiert in Phase 3 von 4 ...
status =
FLOW zu Vt integrieren (Phase 4 von 4)...
status =
Aggregation von Vt (aus FLOW) und %Vt (ADSUM) (Phase 4 von 4) ...
status =
23 Atemzüge detektiert in Phase 4 von 4 ...
status =
Verwerfe 8 der grössten bzw. kleinsten Atemzüge, um Messfehler zu elimi-
nieren ...
status =
PRE-Kalibrierungsdatei fertig verarbeitet: 38 Atemzüge
status =
Mit linearer Regression absolute Volumina aus %Vt berechnen ...
status =
Kalibrierungsfaktor von %Vt ist 0.7422 (Vt = 0.7422 * %Vt).
```

5. RespiG Auswertung betrachten

Wenn alles funktioniert hat, sollten am Ende der Berechnung von RespiG Cal zwei Diagramme geöffnet werden. Diese Diagramme tragen die Titel:
A) Lineare Regression bei den Volumenmessungen

B) Vergleich der Volumenmessungen %Vt (ADSUM) und Vt (integrierter FLOW)

Auf Diagramm A ist zu erkennen, ob die Messwerte (genauer: die daraus berechneten Inspirationsvolumina) von Respitrace PLUS mit denjenigen des Pneumotachographen korrelieren. Ist die Legende grün hinterlegt und erscheint der Text „Messgenauigkeit OK“ (vgl. Abbildung 13), so kann mit genügender Sicherheit der Umrechnungsfaktor b angegeben werden. Dieser Faktor b wird in eine Datei mit Endung „.cal“ abgelegt, welche bei Vorhandensein überschrieben wird. Der Dateiname vor der Erweiterung ist identisch mit dem Namen der Datei mit den Pre-Kalibrierungsmessungen. Somit muss er vom Diagramm nicht abgeschrieben werden. Der Faktor wird bei der späteren Auswertung der Messdaten des Versuches aus dieser Datei ausgelesen.

Ansonsten ist die Legende rot hinterlegt und es erscheint ein Hinweis „ACHTUNG: Messfehler zu gross“ (vgl. Abbildung 15 und Abbildung 16) und der Faktor wird nicht abgespeichert. Eine ev. bereits bestehende gleichnamige „.cal“-Datei (z.B. von einer Pre-Kalibration stammend) wird jedoch nicht gelöscht.

Zur Kontrolle werden die Messdaten in der letzten Phase der Post-Datei (bei Angabe von beiden Dateien) bzw. der Pre-Datei (wenn keine Post-Datei vorhanden) inklusive Auswertung in Diagramm B (vgl. Abbildung Abbildung 14 und Abbildung 16) dargestellt. Man erkennt die durch den Algorithmus entdeckten Minima und Maxima, welche zur Volumenberechnung herangezogen wurden. Diese werden bei Vt (integrierter FLOW) bestimmt. Es wird angenommen, dass %Vt zu den gleichen Zeitpunkten wie Vt ein Minimum oder Maximum hat, was bei korrekten Messungen auch (fast immer) der Fall ist gemäss eigenen Versuchen. Spikes im Messsignal und die Übereinstimmung von %Vt mit Vt sind gut zu erkennen.

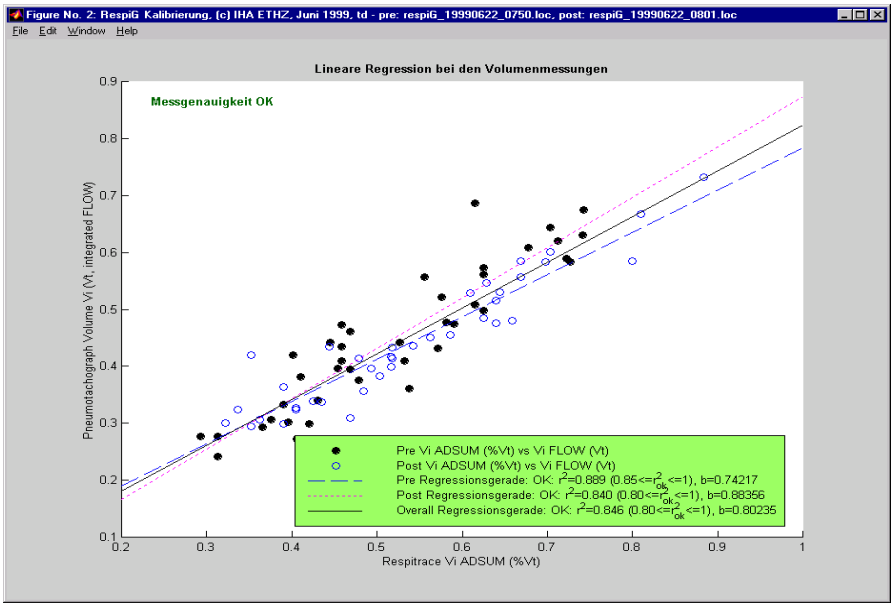


Figure No. 2: RespiG Kalibrierung, (c) IHA ETHZ, Juni 1999, td - pre: respiG_19990622_0750.loc, post: respiG_19990622_0801.loc
File Edit Window Help
Lineare Regression bei den Volumenmessungen
Messgenauigkeit OK
Pneumotachograph Volume Vi (Vt, integrated FLOW)
Respitrace Vi ADSUM (%Vt)
Pre Vi ADSUM (%Vt) vs Vi FLOW (Vt)
Post Vi ADSUM (%Vt) vs Vi FLOW (Vt)
Pre Regressionsgerade: OK: r²=0.889 (0.85<=r²ok<=1), b=0.74217
Post Regressionsgerade: OK: r²=0.840 (0.80<=r²ok<=1), b=0.88356
Overall Regressionsgerade: OK: r²=0.846 (0.80<=r²ok<=1), b=0.80235

Abbildung 13: Auswertung der Kalibrierungsmessungen und Anzeige des Umrechnungsfaktors (%Vt zu Vt), wobei die Messgenauigkeit ok **ist**

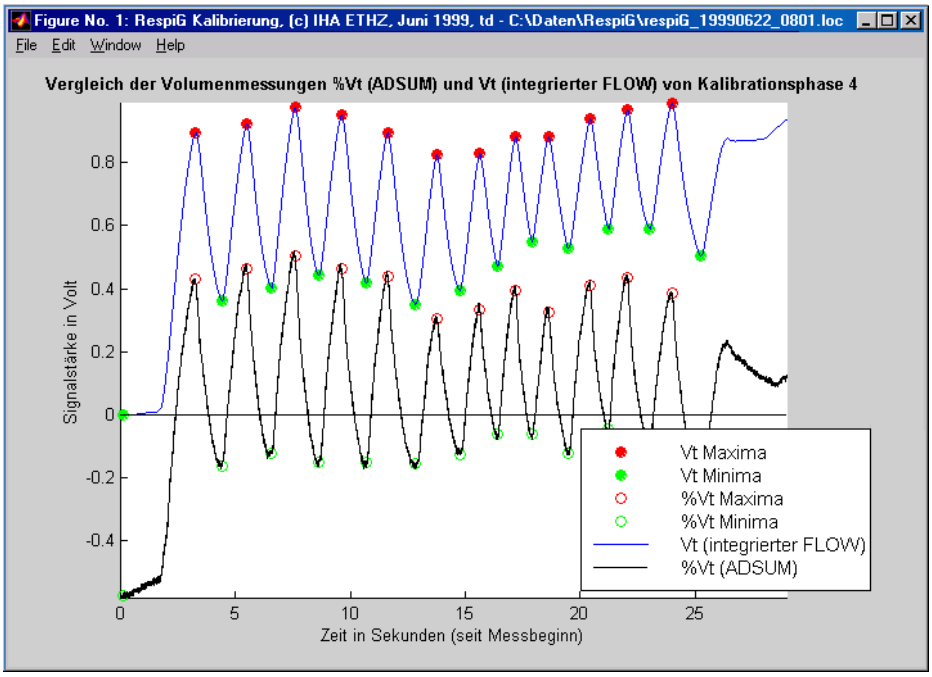


Figure No. 1: RespiG Kalibrierung, (c) IHA ETHZ, Juni 1999, td - C:\Daten\RespiG\respiG_19990622_0801.loc
File Edit Window Help
Vergleich der Volumenmessungen %Vt (ADSUM) und Vt (integrierter FLOW) von Kalibrationsphase 4
Signalstärke in Volt
Zeit in Sekunden (seit Messbeginn)
Vt Maxima
Vt Minima
%Vt Maxima
%Vt Minima
Vt (integrierter FLOW)
%Vt (ADSUM)

Abbildung 14: Messwerte der letzten Kalibrierungsphase (Messgenauigkeit ok**)**

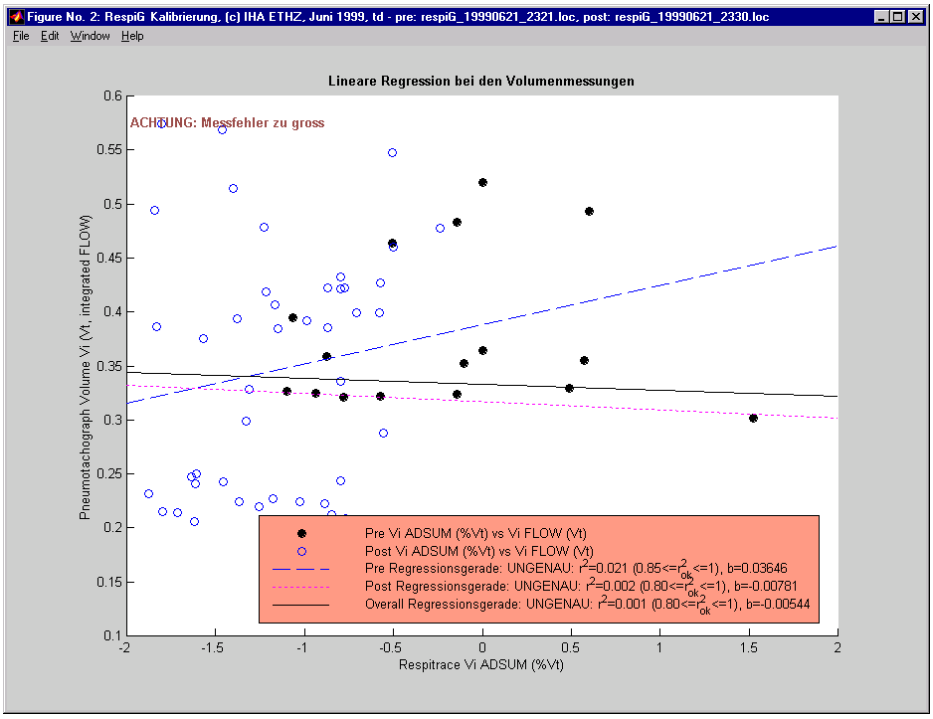


Figure No. 2: RespiG Kalibrierung, (c) IHA ETHZ, Juni 1999, td - pre: respiG_19990621_2321.loc, post: respiG_19990621_2330.loc
File Edit Window Help
Lineare Regression bei den Volumenmessungen
ACHTUNG: Messfehler zu gross
Pneumotachograph Volume Vi (Vt, integrated FLOW)
Respitrace Vi ADSUM (%Vt)
Pre Vi ADSUM (%Vt) vs Vi FLOW (Vt)
Post Vi ADSUM (%Vt) vs Vi FLOW (Vt)
Pre Regressionsgerade: UNGENAU: r²=0.021 (0.85<=r²ok<=1), b=0.03646
Post Regressionsgerade: UNGENAU: r²=0.002 (0.80<=r²ok<=1), b=-0.00781
Overall Regressionsgerade: UNGENAU: r²=0.001 (0.80<=r²ok<=1), b=-0.00544

Abbildung 15: Auswertung der Kalibrierungsmessungen und Anzeige des Umrechnungsfaktors (%Vt zu Vt), wobei der Messfehler zu gross **ist**

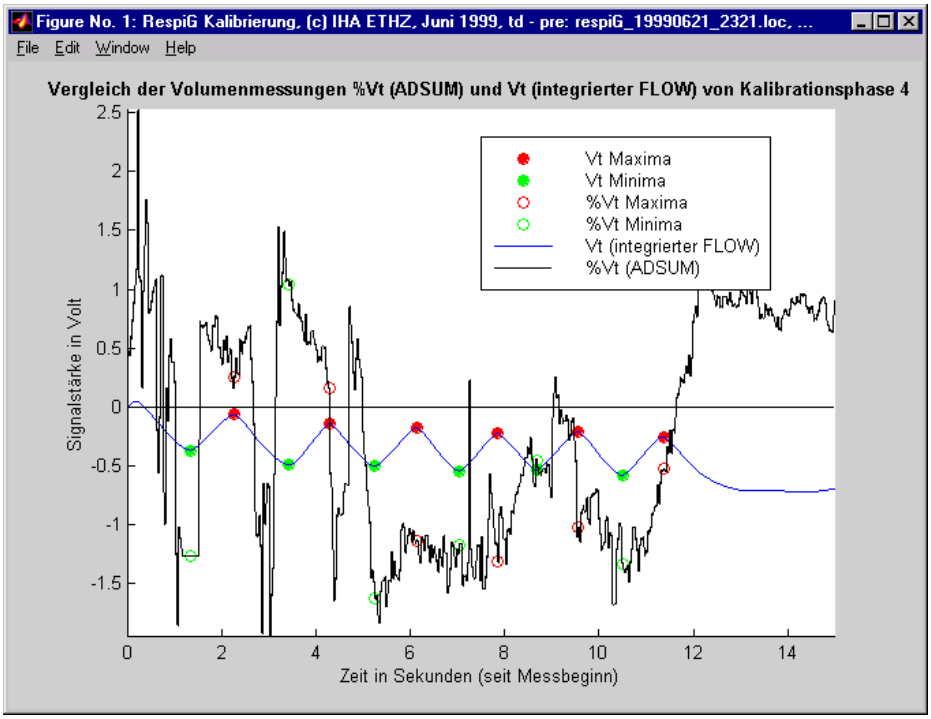


Figure No. 1: RespiG Kalibrierung, (c) IHA ETHZ, Juni 1999, td - pre: respiG_19990621_2321.loc, ...
File Edit Window Help
Vergleich der Volumenmessungen %Vt (ADSUM) und Vt (integrierter FLOW) von Kalibrationsphase 4
Vt Maxima
Vt Minima
%Vt Maxima
%Vt Minima
Vt (integrierter FLOW)
%Vt (ADSUM)
Signalstärke in Volt
Zeit in Sekunden (seit Messbeginn)

Abbildung 16: Messwerte der letzten Kalibrierungsphase (Messfehler zu gross**) Grund war ein zu loses "Rip cage"-Band, das auf- und abrutschte.**

5.3.3.4 RespiG Conv (MATLAB)

Das Modul RepiG Conv dient der Auswertung (Aggregierung) der Respi- und EMG-Daten. Diese wurden von „RespiG – Atemmuster-Messungen" (Lab-View) in *.lor und *.loe Logdateien aufgezeichnet.

Die Respi-Daten werden zusammengefasst und pro Atemzug wird eine Zeile in eine Atemzugdaten-*.loa-Datei geschrieben. Da der FLOW u.U. während des Versuches nicht aufgezeichnet wird, richtet sich die Erkennung von A-temzügen nach dem ADSUM-Signal (im Gegensatz zur Kalibrierung des ADSUM-Signals mit RespiG Cal, wo der FLOW als Referenzsignal verwen-det wird). Details zu den erzeugten Daten sind bei der Beschreibung der „Formate der Logfiles" zu finden.

Die EMG-Daten Rohdaten inklusive Statemarkers werden zur Zeit mittels eines externen Programmes ausgewertet.

Die Loa. Files ermöglichen die grafische Darstellung des Inspirationsvolumens resp. des Expirationsvolumens über die gesamte Versuchszeit.

5.3.3.5 Formate der Logfiles

Bei den Messungen mit RespiG (LabView) werden verschiedene Logfiles aufgezeichnet.

Die Werte in den Logfiles sind jeweils durch ein Semikolon (;) getrennt. Somit entspricht das Datei-Format der CVS-Norm und kann z.B. in Excel (© Microsoft) oder in den meisten Statistikprogrammen problemlos eingelesen werden.

5.3.3.5.1 Namensgebung

RespiG schlägt die Namen der Logfiles nach dem Muster respiG_<YYYYMMDD>_<hhmm>.<ext> (z. B.:respiG_19990622_0801.lor) vor, um eindeutige Namen zu erzeugen.

Dabei steht Y für eine Ziffer des aktuellen Jahres (0000-9999), M für den Monat (00-12), D für den Tag (00-31), h für die Stunde (00-23), m für Minute (00-59) und ext für die Dateierweiterung zur Kennzeichnung der Art des Logfiles. Der vorgeschlagene Name („alles vor dem Punkt“) kann jedoch auch durch einen eigenen ersetzt werden. Er kann auch selbst erweitert werden, z.B. zu respiG_<YYYYMMDD>_<hhmm>_Geruch_A_Moser.<ext**>**. Das Datum und die Zeit sind in dieser Reihenfolge codiert, damit die Dateinamen im Windows Datei-Explorer alphabetisch sortiert werden können und dann gerade in der chronologischen Reihenfolge der Erstellung aufgeführt werden. Die Sortierung funktioniert auch noch, wenn der Name nur hinten (vgl. Patient_A_Moser) ergänzt wird.

5.3.3.6 Respidaten *.lor

Respidaten sind Messwerte von Respitrace PLUS (RIP) und des Pneumotachographen CPX/D (Tabelle 10).

Spalte	Kurzbezeichnung	Bedeutung	Bemerkung
1	t [s]	Zeit in Sekunden seit Messbeginn. Die Aufzeichnungsgeschwindigkeit richtet sich nach der Respiscanrate.	Beginnt immer bei 0.000, auf Millisekunden genau. Bei „ungeraden“ Samplerate (z.B. 600) auf 1/1000 gerundet.
2	ADSUM [V]	Summen-Signal der zwei RIP-Bänder	ADSUM = RC + AB 0.400 Volt = 100% Vt (vgl. [3])
3	RC RIP [V]	Thorakles RIP-Signal („rip cage“-Band)	Gemessen wird die Veränderung der durch das Band umschlossenen Fläche
4	AB RIP [V]	Abdominales RIP-Signal („abdominal“-Band)	Gemessen wird die Veränderung der durch das Band umschlossenen Fläche
5	FLOW [V]	Flow des Pneumotachographen CPX/D	Nach Eichung mit einer 3 Liter-Spritze erhält man aus dem integrierten FLOW das Volumen Vt. Gemäss eigenen Messungen kann dieses mit dem Faktor `FLOW_Vt_V_to_mL = 1866.83` multipliziert werden, um das Volumen in Milliliter zu erhalten.
6	SM1 [1]	State Marker 1: Markierung von Zuständen	Kann maximal 1 mal pro Sekunde seinen Wert ändern, wird in der Regel für die Markierung der Versuchsphasen verwendet
7	SM2 [1]	State Marker 2: Markierung von Zuständen	Kann maximal 1 mal pro Sekunde seinen Wert ändern, wird in der Regel für die Markierung von Subphasen verwendet
8	EM [1]	Event Marker: Markierung von Einzelereignissen	Hat maximal 1 mal pro Sekunde einen Wert ungleich 0

Tabelle 10: Beschreibung der .lor Datei

5.3.3.7 Kalibrierungs Respidaten *.loc

Die Kalibrierungsdaten fallen während der Pre- und Post-Kalibrierung (2 Dateien) von RespiG an und werden in MATLAB von RespiG Cal zur Bestimmung des Faktors für die „.cal“-Datei ausgewertet (Tabelle 11).

Spalte	Kurzbezeichnung	Bedeutung	Bemerkung
1	T [s]	Zeit in Sekunden seit Messbeginn. Die Aufzeichnungsgeschwindigkeit richtet sich nach der Respiscanrate (default: 200 Hz).	Beginnt immer bei 0.000, auf Millisekunden genau. Bei „ungeraden“ Samplerate (z.B. 600) auf 1/1000 gerundet.
2	ADSUM [V]	Summen Signal der zwei RIP-Bänder	ADSUM = RC + AB 0.400 Volt = 100% Vt (vgl. [3])
3	FLOW [V]	Flow des Pneumotachographen CPX/D	Nach Eichung mit einer 3 Liter-Spritze erhält man aus dem integrierten FLOW das Volumen Vt. Gemäss eigenen Messungen kann dieses mit dem Faktor `FLOW_Vt_V_to_mL = 1866.83` multipliziert werden, um das Volumen in Milliliter zu erhalten.
4	PSM [1]	Phase State Marker 1: Markierung der aktuellen Kalibrierungsphase	Kann maximal 1 mal pro Sekunde seinen Wert ändern, wird automatisch inkrementiert vor jeder neuen Kalibrierungsphase

Tabelle 11: Beschreibung der loc. Datei

5.3.3.8 Kalibrierungsfaktor *.cal

Enthält den mit RespiG Cal ermittelten Wert zur Umrechnung von ADSUM %Vt [V] nach integriertem FLOW Vt [V]. Will man Milliliter erhalten, so muss %Vt zusätzlich noch mit `FLOW_Vt_V_to_mL` multipliziert werden.

5.3.3.9 Atemzugdaten *.loa

RespiG Conv erzeugt durch Aggregation der „.lor“-Daten die Atemzugdaten (Tabelle 12). Pro Atemzug wird eine Zeile eingetragen. Die Statemarker und Eventmarker werden pro Atemzug bestimmt. Bei mehreren Wechseln der State- oder des Eventmarkers wird pro Marker der maximale Wert genommen.

Spalte	Kurzbezeichnung	Bedeutung	Bemerkung
1	t [s]	Zeit zu Beginn eines Atemzuges in Sekunden seit Messbeginn.	Bei „ungeraden“ Samplerate (z.B. 600) auf 1/1000 gerundet.
2	Ti [s]	Inhalationszeit (des ADSUM RIP Signals)	Das RIP Signal wird als Referenzsignal verwendet, da FLOW u.U. gar nicht aufgezeichnet wird.
3	Te [s]	Exhalationszeit (des ADSUM RIP Signals)	Ti und Te zusammen ergeben die Gesamtdauer des Atemzuges
4	dVi RIP [ml]	Inhalationsvolumen gemäss ADSUM RIP Signal	
5	dVe RIP [ml]	Exhalationsvolumen gemäss ADSUM RIP Signal	
6	dVi CPX/D [ml]	Inhalationsvolumen gemäss FLOW-Signal des Pneumotachographen	
7	dVe CPX/D [ml]	Exhalationsvolumen gemäss FLOW-Signal des Pneumotachographen	
8	SM1 [1]	State Marker 1: Markierung von Zuständen (Phasen)	Kann maximal 1 mal pro Sekunde seinen Wert ändern, wird in der Regel für die Markierung der Versuchsphasen verwendet
9	SM2 [1]	State Marker 2: Markierung von Zuständen (Subphasen)	Kann maximal 1 mal pro Sekunde seinen Wert ändern, wird in der Regel für die Markierung von Subphasen verwendet
10	EM [1]	Event Marker: Markierung von Einzelereignissen	Hat maximal 1 mal pro Sekunde einen Wert ungleich 0

Tabelle 12: Beschreibung der .loa Datei

5.3.3.9.1 Verwendete Einheiten

s	Sekunden
V	Volt
ml	Milliliter
1	Einheitslos, Skalar

5.3.3.9.2 Beispieldatei: Respidaten *.lor

```
0.000;-0.469;-0.327;-0.137;-0.010;1.000;0.000;0.000
0.005;-0.464;-0.322;-0.142;-0.005;1.000;0.000;0.000
0.010;-0.469;-0.317;-0.146;-0.010;1.000;0.000;0.000
0.015;-0.474;-0.312;-0.142;-0.010;1.000;0.000;0.000
0.020;-0.464;-0.322;-0.142;-0.005;1.000;0.000;0.000
0.025;-0.474;-0.317;-0.146;0.000;1.000;0.000;0.000
0.030;-0.464;-0.317;-0.137;0.000;1.000;0.000;0.000
0.035;-0.459;-0.317;-0.146;0.000;1.000;0.000;0.000
0.040;-0.469;-0.317;-0.146;0.010;1.000;0.000;0.000
0.045;-0.464;-0.327;-0.142;0.020;1.000;0.000;0.000
....
```

Man sieht die ersten 10 Messungen einer mit 200 Hz aufgezeichneten Logdatei mit Respidaten. Statemarker 1 ist in Zustand 1, Statemarker 2 in Zustand 0.

Diese .lor File können dann in das Excel exportiert werden und von da in jedes x-beliebige Statistikprogramm übernommen werden.

6 Experiment II: Verschiedene mentale u/o motorische Aufgaben

6.1 Einleitung

Mit zunehmender kognitiver Belastung nimmt das Inspirationsvolumen ab und die Respirationsrate zu, stellten verschiedene Autoren fest (Grossman 1992, Harding 1987, Wientjes 1992, Willson & Eggemeier 1991). Die untersuchten Aufgaben variierten von reinen Aufmerksamkeits- über Gedächtnis- und mentale Arithmetik-Aufgaben, unterschieden sich jedoch kaum in der motorischen Verrichtung. Reine mentale Arbeit ohne motorische Verrichtung ist in der Arbeitswelt jedoch höchst selten. Es stellt sich daher die Frage, wie sich unterschiedliche Anteile von kognitiven und/oder motorischen Anforderungen von Aufgaben auf die Atmungsparameter und/oder die Herzfrequenz auswirken.

Schleifer und Ley (1996) sowie Schleifer et al (1995) stellten fest, dass bei zunehmender mentaler Beanspruchung eine zunehmende Hyperventilations-Reaktion ausgelöst wurde. Zusätzlich berichteten die Versuchspersonen über steigende muskuloskeletale Unbehaglichkeit, wobei die reinen physikalischen Anforderungen nicht zugenommen hatten (Schleifer et al 1995). Das Mass der Aktivierung von aufgaben-irrelevanter Muskulatur - also der muskulären Anspannung - steht in Beziehung zur Beanspruchung des mental arbeitenden Menschen. Mit zunehmender Ausschüttung von Noradrenalin tendiert die Muskulatur zur grösseren Anspannung sowie zur vermehrten Rekrutierung von Muskelfasern während einer Verrichtung (Westgaard 1996). Untersuchungen deuten darauf hin, dass zunehmende muskuläre Anspannung eine wesentliche Variable darstellt, die zwischen psychosozialen Arbeitsfaktoren und psychologischer Beanspruchung einerseits und muskuloskeletalen Symptomen andererseits, vermittelt (Theorell et al 1991, Waersted et al 1991, Weber et al 1980, Westgaard 1996). Untersuchungen von Weber et al (1980) und Waersted et al (1991) deuten daraufhin, dass die psychologisch mediierte muskuläre Anspannung durch verschiedene Grade der Aufgabenkomplexität bestimmt werden.

Waersted und Westgaard (1996) zeigten, dass insbesondere der obere M. Trapezius der dominanten Hand, sowie der M. Frontalis am besten die Anspannung in der aufgaben-irrelevanten Muskulatur repräsentieren.

Die vorliegende Studie soll einerseits die Beziehung zwischen physiologischen Parametern und subjektiver Beanspruchungs-Einschätzung bei Aufgaben mit verschiedenen mentalen und/oder motorischen Anforderungen untersuchen und andererseits ob ein Zusammenhang zwischen motorischer Anspannung der aufgaben-irrelevanten Muskulatur und der Atmung besteht. Zusätzlich wurden folgende Fragestellungen überprüft: Gibt es signifikante Unterschiede in der Atmung zwischen Test- und Pausensequenzen? Beeinflussen die Testphasen die Pausensequenzen? Zeigen Männer und Frauen unterschiedliche Atemreaktionen?

Um die Fragestellungen beantworten zu können wurden insgesamt 5 Aufgaben mit verschiedenen Anteilen an motorischer und/oder mentaler Arbeit gestellt. Bei den Tapping-Aufgaben (T4 und T5) überwiegte die motorische Arbeit, während der Kombitest (T2) vorwiegend kognitive Arbeit erforderte. Das Tracking (T1) stellte Anforderungen an Motorik und Kognition, wobei die motorische Komponente etwas stärkere Gewichtung erlangte als dies beim Multitest (T3) der Fall war. Bei dem Multitest (T3) waren kognitive und motorische Anforderungen in etwa ausgeglichen.

6.2 Methodik

6.2.1 Überblick

Für diese Studie stellten sich 26 Probanden im Alter zwischen 20 und 40 Jahren (Durchschnittsalter: 26 Jahre) zur Verfügung. Den Probanden wurde für die Teilnahme am Versuch eine Entschädigung bezahlt. Die Versuchspersonen nahmen freiwillig an der Studie teil, und die Studie war vom Ethischen Komitee der ETH genehmigt worden. Der gesamte Versuch dauerte 2 Stunden, wobei eine Stunde für die Vorbereitung der Probanden benötigt wurde. Während der zweiten Stunde durchliefen die Probanden eine Testserie von jeweils fünf Aufgaben:

- T1: Tracking
- T2: Kombitest (Periphere & zentrale Aufmerksamkeit)
- T3: Multitest (Tracking & periphere & zentrale Aufmerksamkeit)
- T4: Tapping (langsam)
- T5: Tapping (sehr schnell)

Die Testreihenfolge wurde randomisiert und ausbalanciert. Die Aufgaben stellten alle sowohl kognitive als auch motorische Anforderungen, wobei sich die Verteilung je nach Aufgabe unterscheidet.

Die einzelnen Aufgaben dauerten 5 Minuten, und während dieser Zeit wurden das Atemmuster sowie weitere physiologische Parameter aufgezeichnet. Zwischen den Tests sollten sich die Probanden entspannen, was mittels entsprechender klassischer Musik (langsame Rhythmen, etwa der Herzfrequenz entsprechend) erreicht wurde. Diese Entspannungsphasen dauerten jeweils 3 Minuten. Unmittelbar nach dem Test wurde mittels Fragebogen eine subjektive Einschätzung des gemachten Tests von der Versuchsperson verlangt. Es sollte dadurch ermittelt werden, wie „stressig“ der Test war und wie sehr sich die Versuchsperson während des Tests engagiert hatte.

6.2.2 Versuchspersonen

6.2.2.1 Rekrutierung der Versuchspersonen

Die Versuchspersonen nahmen alle freiwillig an der Studie teil. Sie wurden teilweise mittels mündlicher Propaganda, teilweise mittels Aushängen rekrutiert.

6.2.2.2 Information der Versuchspersonen

Die Versuchspersonen wurden mit einem Probandeninformationsblatt unmittelbar vor dem Versuch über Ablauf, Sinn und Ziel der Studie aufgeklärt. Es wurde den Versuchpersonen erklärt, dass wir an den physiologischen Reaktionen wie Puls, Hautleitfähigkeit, Atmung und motorische Aktivität bei verschiedenen Aufgabenformen interessiert sind. Sie hatten keine Bedenkfrist und wurden gebeten, eine Einverständniserklärung zu unterschreiben. Als Entschädigung erhielten alle Versuchspersonen Fr. 50.- am Ende des Versuches.

Die Versuchspersonen durchliefen vor der Messung eine Lernphase, in welcher sie alle Tests kennen lernten. Dabei wurde so vorgegangen, dass die Versuchspersonen als erstes den Kombitest (T2) erklärt bekamen und anschliessend 5 Minuten lang übten. Anschliessend wurde ihnen der Multitest erklärt (T3), den sie wiederum während 5 Minuten absolvierten. Der Trackingtest (T1) wurde ihnen erklärt, jedoch nicht mit ihnen geübt. Bei den beiden Tappingtests wurden den Probanden die beiden Rhythmen kurz vorgespielt, damit sie einige Tipp-Bewegungen üben konnten. Um einer allfälligen Ermüdung entgegenzuwirken, wurden diese beiden Tests jedoch nicht in voller Länge geübt.

6.2.2.3 Charakterisierung Versuchspersonen

Die nachfolgende Tabelle 13 gibt Auskunft über die Probanden. An den Versuchen nahmen 11 weibliche und 15 männliche Versuchspersonen teil. Das Alter schwankte zwischen 21 und 37 Jahren (Mittelwert: 26.4 Jahre, Median: 26 Jahre). Zwei der insgesamt 26 Teilnehmer konnten bei der Auswertung nicht berücksichtigt nehmen. Bei Versuchsperson 17 sowie bei Versuchsperson 21 konnten die Atemparameter nicht verwendet werden, da sich während des Versuches Probleme mit der Kalibration ergaben. Ein mögli-

cher Grund könnte darin liegen, dass sich die Respirationsbänder während der Messung ein wenig gelöst hatten. 24 Personen konnten in die Analyse miteinbezogen werden.

VP-Nr.	Alter in J.	Raucher	Sex	Rechtshänder
1	21	N	m	Ja
2	26	J	m	Ja
3	26	N	w	Ja
4	23	J	w	Ja
5	27	N	m	Nein
6	28	N	w	Nein
7	33	N	w	Ja
8	24	N	m	Nein
9	24	N	m	Ja
10	25	N	w	Ja
11	21	J	w	Ja
12	28	N	m	Ja
13	26	N	m	Ja
14	31	N	w	Ja
15	37	N	m	Ja
16	28	N	m	Ja
18	28	N	m	Ja
19	21	N	w	Ja
20	28	N	m	Ja
22	27	N	m	Ja
23	25	N	m	Ja
24	28	J	m	Ja
25	24	N	w	Ja
26	24	N	m	Nein
mean	26.4			
SD	3.7			

Tabelle 13: Charakterisierung der Versuchspersonen

6.2.3 Gemessene Parameter

Während den Versuchen wurden die folgenden Parameter aufgezeichnet:

- Puls und Herzfrequenz: Gemessen mit 3 Elektroden, EKG (Varioport)
- Atemmuster: Gemessen mit Bauchband (AB) und Brustband (RC) am Respitrace. Atemflow erfasst mit Pneumotachograph.
- Aktivität des Musculus Frontalis und des rechten und linken Musculus Trapezius: Gemessen mit 7 Elektroden (Toennies-Verstärker)
- Leistungsparameter des Tracking, Kombi-Test, Multitest.
- Subjektive Einschätzung der Aufgabe (nach jeder Aufgabe)

6.2.4 Die verwendeten Geräte

Nachfolgend werden die einzelnen Messgeräte kurz vorgestellt mit Ausnahme der Atemmustererfassung, die im Kapitel Methodik detailliert abgehandelt ist.. Genaue Hinweise zu der Vorbereitung der Versuchspersonen und Handhabung der Geräte sind dem Kapitel 3.5.3 zu entnehmen.

6.2.4.1 Varioport zur Messung der Herzfrequenz und der Hautleitfähigkeit

Abbildung 17*: PC des Varioport*

Der Varioport (Becker Meditec, Karlsruhe, D) ist ein Achtkanal-Rekorder für physiologische Daten. Für die Erfassung des Elektrokardiogramms (EKG) und des Hautleitwertes (EDA) verfügt das Gerät über einen Vorverstärker, der direkt in den entsprechenden Messkabeln integriert ist. Im Versuch wurde das Gerät über einen PC gesteuert und bedient (Software: TEMEC Instruments B. V., 6460 HA Kerkrade, NL). Die Messdaten wurden jedoch auf einer Memory Card des Gerätes aufgezeichnet und erst nach dem Versuch auf den PC geladen. Während der Versuche war Varioport nicht am Strom angeschlossen, sondern wurde mit Batterien betrieben.

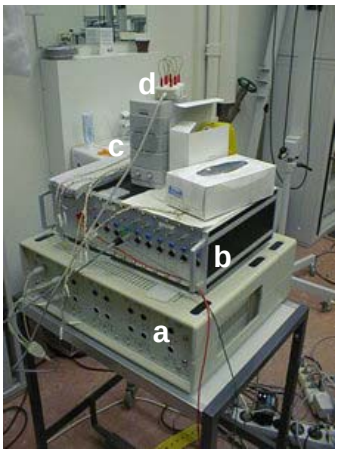
6.2.4.2 EMG-Verstärker von Toennies zur Erfassung der Muskelaktivität

Die mittels aufklebbarer Elektroden aufgenommenen EMG-Signale wurden via Kabelinterface über einen Verstärker der Firma Toennies verstärkt und dann mit LabView (© National Instruments) aufgezeichnet. Die Steuerung des Verstärkers erfolgte über das Programm Telemate auf einem PC.

Während der Versuche konnte die EMG-Messung mit LabView online auf dem PC beobachtet werden.

6.2.4.2.1 Einstellungen des Verstärkers

Für die Versuche mussten Hoch- und Tiefpass-Filter eingestellt werden, die Frequenzen oberhalb 500 Hz und unterhalb 55 Hz herausfilterten. Frequenzen oberhalb 500 Hz wurden wegen des Abtasttheorems von Schannon herausgefiltert. Dieses Theorem besagt, dass die Frequenz der eingehenden Signale kleiner als die Hälfte der Abtastfrequenz sein muss. Die Abtastung mit dem LabView während der Versuche betrug 1000 Hz. Die Frequenzen unterhalb 55 Hz wurden herausgefiltert, um sicher keine störenden Netzsignale (Netzfrequenz = 50 Hz) zu erhalten.



a: Toennies Verstärker

b: Verstärker der Tapping-Signale

c: Boxen für Tapping Rhythmus

d: Kabelinterface EMG-Messung

Abbildung 18: Geräte für die EMG-Messung

6.2.4.2.2 Verbindungen Kabelinterface

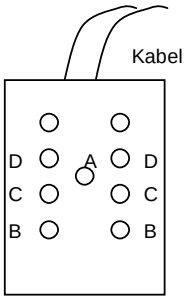
Die sich an der Versuchsperson befindenden Elektroden wurden wie folgt an das Kabelinterface angeschlossen:

A: Referenzelektrode (C7) in die Mitte des Kastens

B: Stirnelektroden: Kanal 2

C: Trapezius links: Kanal 3

D: Trapezius rechts: Kanal 4



Der Kabelkasten wurde der Versuchsperson anschliessend mit Mefix® (Mölnlyke, Schweden) auf den Rücken geklebt, um ihr eine grösst mögliche Bewegungsfreiheit zu gewähren.

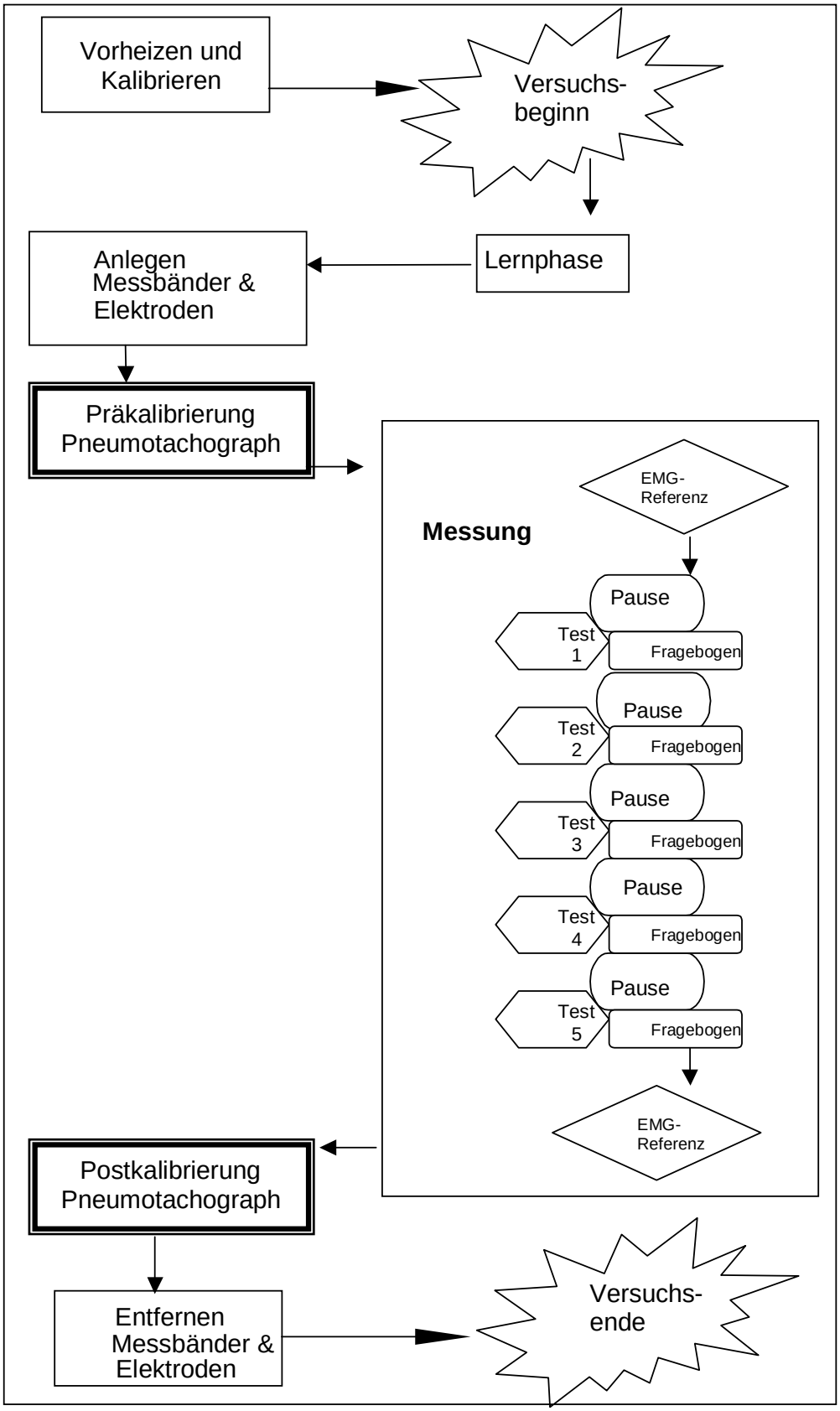
6.2.4.2.3 Kalibrierung EMG (Referenzmessungen)

Um einen Referenzwert für die EMG-Messungen zu haben, mussten die Versuchspersonen gewisse Muskelarbeiten ausführen. Diese Referenzmessungen wurde als erste, resp. letzte Messung des gesamten Versuches vorgenommen. Die Kalibrierung wurde mittels Statemarkers (8 = Stirnrunzeln, 9 = Heben der Arme) im LabView gekennzeichnet.

Für die Ermittlung des Referenzwertes des M. Frontalis wurde die Versuchsperson angewiesen, die Stirn so fest wie möglich zu runzeln und anschliessend zu entspannen. Dieser Vorgang musste dreimal wiederholt werden. Dies dient zur Erfassung der sogenannten Maximum Voluntary Contraction (MVC).

Die Ermittlung der MVC beim M. Trapezius ist aufwändiger und braucht Hilfsmittel. Daher entschieden wir uns für eine Referenzpositionsmessung. Die Versuchsperson wurden gebeten, beide Arme gleichzeitig waagrecht auszustrecken und ca. 10 s in dieser Position zu halten. Auch dieser Vorgang wurde dreimal wiederholt und ergab einen Positionsreferenzwert.

Abbildung 19: Versuchsablauf



6.2.4.3 Lernphase

Nach der Begrüssung wurden die fünf Tests genau erklärt. Zuerst wurde eine fünfminütige Lernphase zum Kombitest und anschliessend eine weitere fünfminütige Lernphase zum Multitest absolviert. Der Trackingtest alleine wurde nicht gelernt, da dieser im Multitest enthalten ist. Die beiden Tapping Tests (T4 und T5) wurden kurz angespielt, jedoch nicht in ganzer Länge absolviert, um eine Ermüdung zu vermeiden.

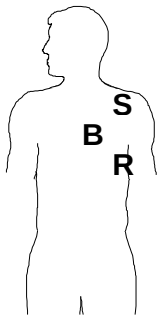
6.2.4.4 Vorbereitungsphase: Anlegen der Messbänder und Elektroden

Nach der Lernphase und einer kurzen Pause (falls von der Versuchsperson gewünscht) wurde die Versuchsperson für die Messungen vorbereitet.

Dazu wurden zuerst die EKG-Elektroden appliziert und anschliessend die Respitrace-Bänder um Thorax und Abdomen gelegt und mit hautfreundlichem Klebeband (Mefix®, Mölnlycke, Schweden) fixiert. Als nächstes wurden die EMG-Elektroden auf dem Rücken sowie auf der Stirn aufgeklebt. Nachdem die Elektrode für die Hautleitfähigkeitsmessung aufgeklebt worden war, wurden die verschiedenen Signale am PC überprüft. Nachfolgend werden die einzelnen Vorbereitungsschritte genauer erklärt.

6.2.4.4.1 Puls- und Herzfrequenz

Für die Erfassung der Herzfrequenz und des Pulses wurden den Probanden drei EKG-Elektroden auf der linken Körperseite direkt auf die Haut appliziert. Die Positionierung der Elektroden geschah folgendermassen:



- S: Schwarze Elektrode oberhalb des Armes links
- B: Blaue Elektrode in der Mitte des Körpers
- R: Rote Elektrode unterhalb des Armes links

Die Elektroden wurden mittels Verbindungskabel an den batteriebetriebenen Varioport angeschlossen. Da Varioport während des Versuches mit dem PC verbunden war, konnten diese Messungen on-line verfolgt werden.

6.2.4.4.2 Muskelaktivität

Zur Messung der Muskelaktivität wurden insgesamt 7 EMG-Elektroden auf die Haut geklebt. Für die EMG-Messung war es notwendig, die oberste Hautschicht zu entfernen, was mittels Peeling-Schwämmchen (Jana, Migros) erreicht wurde. Anschliessend wurde die Haut mit Alkohol gereinigt, um eine möglichst fettfreie Hautoberfläche zu erhalten.

Um die Signalleitung sicherzustellen, wurde eine hautfreundliche Salbe (Elektroden Creme, Marquette Hellige) auf die Mitte der Kathoden aufgetragen. Es wurden folgende Elektroden appliziert:

- 1 Elektrode als Grund auf den Wirbel C7
- 1 Elektrodenpaar auf den Musculus Trapezius links (2-3 cm lateral auf der direkten Verbindungslinie zwischen C7 und Akromion)
- 1 Elektrodenpaar auf den Musculus Trapezius rechts (2-3 cm lateral auf der direkten Verbindungslinie zwischen C7 und Akromion)
- 1 Elektrodenpaar auf den Musculus Frontalis

6.2.4.5 Messung

Das Atemmuster, EMG, EKG sowie EDA wurden während der gesamten Versuchsdauer aufgezeichnet. Damit man die verschiedenen Testphasen (T1 bis T5) von den Pausen unterscheiden konnte, wurde mit Statemarkers gearbeitet. Da EKG sowie EDA mit einer von LabView getrennten Software registriert wurde, erreichte man eine Synchronisation der Daten, indem die Zeit der EKG-Messung neben dem entsprechenden State- oder Eventmarker notiert wurde. Das verwendete Versuchsprotokoll ist im Anhang zu finden.

6.2.4.6 Die Pausen

Vor jedem Test wurden Pausen von jeweils 3 Minuten eingesetzt. Ziel dieser Pausen war es, die Atmung wieder auf ein Ruhe-Niveau zu bringen, damit man für jeden Test dieselbe Ausgangslage zur Messung hatte. Deshalb wurde auch vor dem ersten Test eine Pause eingelegt. Während den Pausen hörten die Probanden klassische Musik mittels aufgesetzter Kopfhörer. Die Musik war so gewählt, dass sie beruhigend wirkte: Der Rhythmus entsprach in allen Stücken in etwa einer Frequenz von 60 - 80 Schlägen pro Minute. Den Zusammenhang zwischen gehörtem Rhythmus und Atemperiode zeigt eine Studie von Haas, Distenfeld und Axen aus dem Jahr 1986. Die Forscher fanden in dieser Studie einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Rhythmus und der Atemperiode.

6.2.4.7 Die verschiedenen Tests

Alle Versuchspersonen durchliefen insgesamt 5 verschiedene Aufgaben, die jeweils 5 Minuten dauerten. Die Reihenfolge dieser Tests wurde randomisiert und balanciert. Sämtliche verwendeten Tests wurden an der ETH Zürich entwickelt und bereits im Rahmen von anderen Untersuchungen (Sethre et al., 2000, Vitale-Sethre & Läubli, 2000) verwendet und werden nachfolgend erklärt. Bei allen Aufgaben wurde darauf geachtet, dass Tisch, Stuhl ergonomisch auf die Versuchsperson richtig eingestellt waren sowie, dass die Versuchsperson ihre Ellenbogen bequem auf den Tisch abstützen konnte.

6.2.4.7.1 T1: Tracking

Die Versuchsperson muss mittels eines Spezialstiftes auf dem Digitalisierbrett einem kleinen planetenähnlichen Punkt auf dem Bildschirm folgen. Das Ziel ist den Kreis des Cursors mit dem Kreis des bewegenden Symbols möglichst genau zur Deckung zu bringen. Der Punkt bewegt sich in einer schlangenförmigen Linie über den ganzen Bildschirm und wechselt dabei seine Farbe. Der Farbwechsel ist jedoch für diese Aufgabe nicht von Bedeutung. Als Leistungsparameter dient der Abstand des Kursors zum sich bewegenden Punkt (TT)..

6.2.4.7.2 T2: Kombitest

Dieser Test stellt in erster Linie kognitive Anforderungen und testet sowohl das Kurzzeitgedächtnis als auch die periphere Aufmerksamkeit. Es müssen gleichzeitig zwei Aufgaben bearbeitet werden.:

1. Das Kurzzeitgedächtnis wird wie folgt getestet: In der Mitte des Bildschirmes befindet sich ein Farbpunkt, der die Farbe in einer bestimmten Frequenz wechselt. Man muss sich nun darauf konzentrieren, ob die Farben grün, rot, blau in beliebiger Reihenfolge direkt aufeinander folgen. Geschieht dies, muss man auf die rechte Cursor-Taste drücken. Als Leistungsparameter werden die richtigen Antworten pro vorgegebene Ziele (KRIZI) oder die richtigen Antworten pro gegebene Tastendrücke (KRITA) sowie die Reaktionszeit herangezogen.

2. Die periphere Aufmerksamkeit wird folgendermassen getestet: In den 4 Ecken des Bildschirmes befindet sich je ein schwarz-weiss gemustertes Rädchen. Diese Rädchen bewegen sich (rotieren) in unregelmässigen Zeitabständen und unterschiedlicher Reihenfolge. Beobachtet man eine Drehbewegung muss man diese Beobachtung ebenfalls so schnell wie möglich durch Drücken der linken Cursor Taste bestätigen. Analog der Arbeitsgedächtnissaufgabe werden die richtigen Antworten pro vorgegebene Ziele (PRIZI) oder pro erfolgte Tastendrücke (PRITA) sowie die Reaktionszeit als Leistungsparameter erfasst.

6.2.4.7.3 T3: Multitest (Tracking & periphere & zentrale Aufmerksamkeit)

Dieser Test ist eine Weiterentwicklung des Kombitests. Es ist der komplizierteste Test, der sowohl motorische als auch kognitive Anforderungen stellt. Bei diesem Test soll man auf drei Dinge achten:

1. Man muss mit dem einem Spezialstift auf einem Digitalisierbrett einem Symbol, welches sich auf dem Bildschirm bewegt, möglichst genau folgen. Dabei sollten die beiden Kreise möglichst aufeinanderliegen. (= Tracking-Test)

Neben dem Nachzeichnen der Bahn muss man noch den Kombitest absolvieren:

2. Das bewegende Symbol, welches man mit dem Stift verfolgt, wechselt die Farbe in raschen Abfolgen. Es muss nun genau beobachtet werden, wann die drei Farben grün, rot, blau in beliebiger Reihenfolge direkt aufeinander folgen. Geschieht dies, so muss man auf die rechte Cursor-Taste drücken.

3. An den vier Ecken des Bildschirmes befinden sich analog zum Kombitest vier schwarz-weiss gemusterte Rädchen, die sich in unregelmässigen Zeitabständen bewegen (rotieren). Beobachtet man eine Drehbewegung (egal, in welche Richtung) muss man diese Beobachtung ebenfalls so schnell wie möglich durch Drücken der linken Cursor-Taste bestätigen.

6.2.4.7.4 T4: Tapping (langsam)

In diesem Test werden in erster Linie Anforderungen an die Motorik gestellt. Man muss einen vorgegebenen Rhythmus (Frequenz: 2 Hz) durch Fingerklopfen möglichst genau einhalten. Dazu bedient man mit dem Zeigefinger der rechten, bzw. linken Hand eine Spezialtastatur, mittels welcher der Kraftaufwand des Fingers gemessen werden kann. Die Klopffrequenz wird während des Testes nicht geändert.

6.2.4.7.5 T5: Tapping (sehr schnell)

Dieser Test funktioniert genau gleich wie der vorher beschriebene Test. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die vorgegebene Klopfsequenz viel schneller (4.5 Hz) ist. Auch hier wird der Rhythmus nicht geändert.

6.2.4.8 Fragebogen

Unmittelbar nach jedem Test wurden die Versuchspersonen gebeten, den gemachten Test bezüglich Interesse, Beanspruchung, Schwierigkeit, Anstrengung und persönlichem Engagement auf einer 11er Skala von z.B. sehr langweilig bis sehr interessant, zu beurteilen. Um zu erreichen, dass wirklich jeder Test individuell bewertet wurde, wurden die Fragebogen einzeln nach jedem Test ausgeteilt und nach dem Ausfüllen wieder eingesammelt.

6.2.4.9 Statemarker und Eventmarker

Das Programm LabView verfügt über zwei Statemarkers und einen Eventmarker, die es erlauben, Daten bestimmten Zuständen zuzuordnen.

Für den vorliegenden Versuch wurden folgende **Statemarker** gesetzt:

1: Test 1	**4**: Test 4	**7**: Pause
2: Test 2	**5**: Test 5	**8**: Stirnrunzeln (EMG)
3: Test 3	**6**: Fragebogen ausfüllen	**9**: Armheben (EMG)

Eventmarker wurden folgende definiert:

1: Husten des Probanden	**3**: Unvorhergesehene Störung
2: Niessen des Probanden	**4**: Sprechen des Probanden

Die Reihenfolge der Tests war randomisiert und wurde vorgängig mittels eines Computer-Programms (Permutations © Matthias Auf der Maur (2000)) errechnet. Ausserdem wurde die Testreihenfolge ausbalanciert. Die Messungen begannen alle mit einer dreiminütigen Pausensequenz, der dann der erste Test folgte. Damit eine Synchronisierung mit den EKG/EDA-Daten erreicht wurde, wurde bei der Setzung des jeweiligen Markers auch die Zeit auf dem EKG/EDA-Computer notiert. Dadurch konnten die entsprechenden Daten bei der Auswertung richtig zugeordnet werden.

6.2.5 Datenanalyse

Zur graphischen Analyse der aufgenommenen Daten wurde das Computerprogramm Microsoft® Excel 2000 verwendet. Statistisch wurden die Daten mit dem Computerprogramm Systat® Version 9.0 for Windows® (SPSS, Inc.) ausgewertet.

6.2.5.1 Berechnung der physiologischen Antwort auf die Tests

Um die genaue physiologische Antwort auf die verschiedenen Tests zu erhalten, wurden für alle fünf Bedingungen die Differenzen zwischen Test und vorhergehender Pause gebildet. Es ergaben sich somit folgende Delta-Werte:

Delta1: Test1(Tracking) – Pause1

Delta2: Test2(Kombi) – Pause2

Delta3: Test3(Multi) – Pause3

Delta4: Test4(Tapping langsam) – Pause4

Delta5: Test5 (Tapping schnell) – Pause5

6.2.5.2 Konvertierung der Atemdaten

Die Atemdaten wurden während den Messungen als spezielle Messdateien abgespeichert (xx.lor). Die Daten der Prä- und der Postkalibrierung wurden als xx.loc-Files abgespeichert. Um die Daten auswerten zu können, mussten diese beiden Dateitypen in eine Auswertungsdatei (xx.loa) konvertiert werden. Diese Konvertierung wurde in einem eigens dafür entwickelten MatLab-Programm vorgenommen (© MathWorks, Inc.). Das Programm überprüfte mittels einer Regression die Übereinstimmung der Prä- und Postkalibrierung. Waren die Abweichungen zwischen diesen beiden Kalibrationen zu hoch, musste die gesamte Messung verworfen werden. War die Übereinstimmung der Prä- und Postkalibrierung im Toleranzbereich des Programms, wurde eine Auswertungsdatei kreiert.

Mittels „plot Data“ konnte anschliessend der Atemverlauf jeder Versuchsperson visualisiert werden (siehe Abbildung 20).

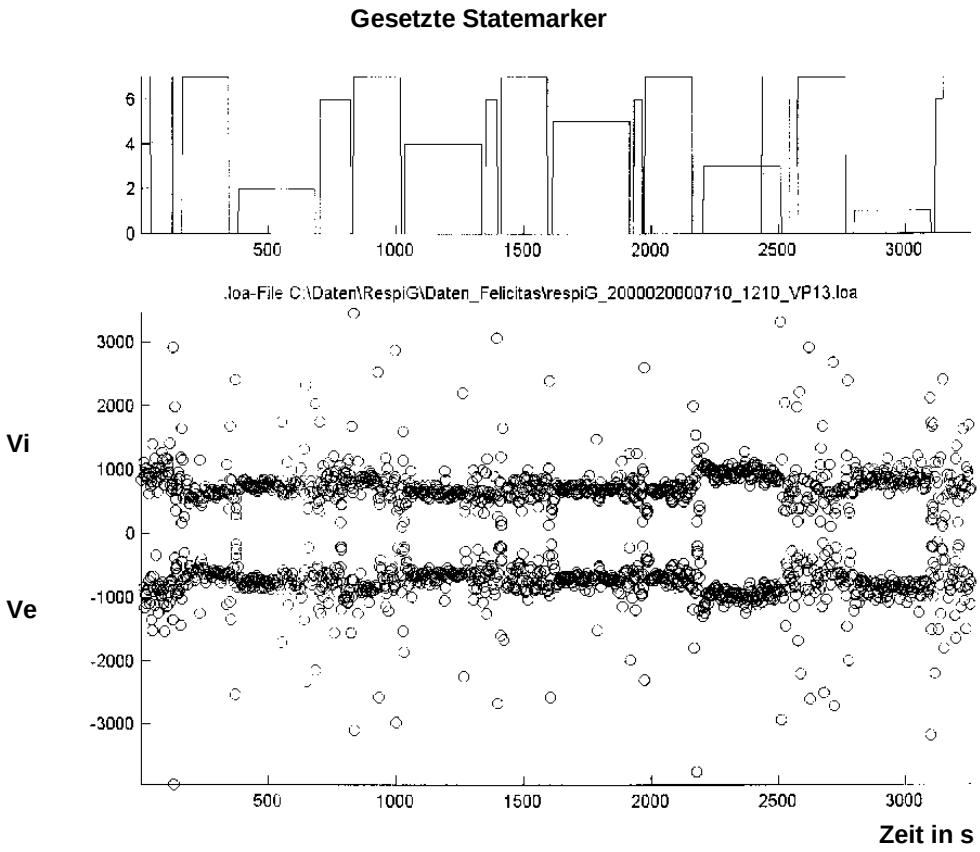


Abbildung 20: Vi, Ve Plot mit gesetzten Markern

6.2.5.3 Statistische Auswertung

In der statistischen Auswertung wurden die Daten im Computerprogramm Systat® Version 9.0 for Windows® (SPSS, Inc.) mittels univarater Varianzanlyse mit repeated Design ausgewertet. Post hoc Analysen wurden mittels t-test durchgeführt. Aus den subjektiven Angaben zur Beanspruchung, sowie aus der muskulären Anspannung wurden Kontraste generiert, welche zur Hypothesentestung der physiologischen Parameter eingesetzt wurden.

Bei der Bearbeitung der EMG Rohdaten wurde wie folgt vorgegangen: Um die Netzfrequenz von 50 Hz und ihre Harmonischen zu eliminieren wurden die mit 1000 Hz registrierten EMG-Verläufe digital nachgefiltert. Anschliessend wurde das gefilterte Signal mit einem gleitenden Fenster (moving window) von 50 ms die Root-Square-Means (RMS) emittelt. Zur Reduzierung der grosse Datenmenge, wurde anschliessend auf 200 Hz herunter gesampelt.

Bestimmung der Referenzwerte:

- Stirnmuskel: Bestimmt wurde das Maximum der Voluntary Contraction (MVC) über 1 s (moving window). Dabei wurde das Maximum der 3 MVC-Bestimmungen vor und der 3 MVC-Bestimmungen nach den Versuchen bestimmt.

- Trapezmuskel: Hier wurde der Mittelwert der Referenzposition (beide Arme horizontal ausgestreckt für 10 s) nach Eliminierung des Anfangspeaks über der stabilen Phase über 5 sec. ermittelt.

Alle EMG-Daten wurden durch die so ermittelten Referenzwerte dividiert, was zu einer normierten RMS-Kurve (nRMS) führte. Als letzter Schritt wurden Perzentile und Mittelwerte für 1-Minuten-Abschnitte bestimmt. Aus den so bearbeiteten Rohdaten wurden anschliessend die nRMS-Daten während den Testphasen herausgefiltert und sortiert.

Die Aktivität des rechten Trapezmuskels, des linken Trapezmuskels und des Stirnmuskels wurde separat ausgewertet. Bei Linkshändern wurde die Aktivität des linken Trapezmuskels unter „rechts“ eingetragen, die Aktivität des rechten Trapezmuskels unter „links“ und es wird der Terminus dominanter Trapezius von nun an gebraucht. Die Aktivitätswerte des M. Frontalis entsprechen Prozentwerten der maximalen Stirnkontraktion (% Maximum Voluntary Contraction (%MVC)), die Aktivitätswerte des M. Trapezius entsprechen Prozentwerten der Referenzposition des Trapezius (% Referenz Position Contraction (%RPC)).

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Untersuchte Atemparameter

Um die gestellten Fragen zu beantworten, wurden die folgenden Atemparameter während der Test- und Pausenphasen untersucht:

- Inspirationsvolumen: Vi (ml)
- Inspirationszeit: Ti (s)
- Inhalationsfluss: Vi/Ti (ml/s)
- Inspirations- plus Expirationszeit: Ttot (s)
- Minutenventilation MV, (Vi x 60/Ttot)
- Anteil Brustatmung: % RC

6.3.2 Ergebnisse Atemparameter

6.3.2.1 Vergleich der Atemparameter während den Pausen

6.3.2.1.1 Zeitliche Abfolge der Pausen

Betrachtet man die Pausen in zeitlicher Abfolge (1= 1. Pause im Versuch, 5= letzte Pause im Versuch, Abbildung 21), so stellt man eine leichte Abnahme des Drive fest. Diese Abnahme ist jedoch nicht signifikant. Durch die Randomisierung der Tests während der Messungen konnte diese leichte Tendenz eliminiert werden. Auch bei allen anderen Atemparametern konnte keine Signifikanz zwischen den Pausen gefunden werden.

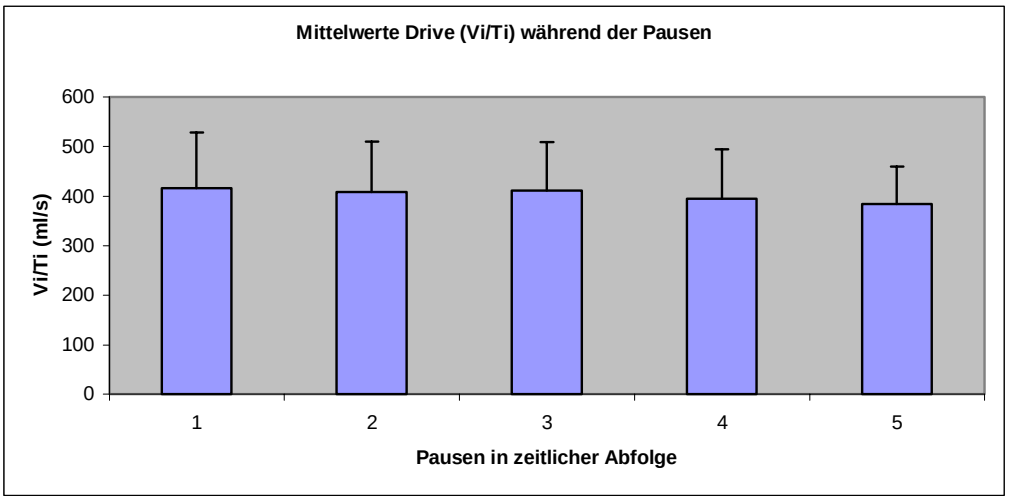


Abbildung 21:Vergleich des Inhalationsflusses (Mittelwert aller VP) während der Pausen in zeitlicher Abfolge

6.3.2.1.2 Absolute Reihenfolge der Pausen

Wenn man die Pausen in der unter Kapitel 4.4.1 beschriebenen Reihenfolge untersuchte (Pause gleich nummeriert wie die vorher gelöste Aufgabe), konnte man ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Pausen finden.

Aus der untenstehenden Tabelle 14 ist zu entnehmen, dass sich die Atemparameter während der Pausen nicht signifikant unterscheiden und die Varianzgleichheit in keinem Fall kritisch ist.

	p-Wert	F-Wert(4/92)	p- Residuals	F- Residuals
ViP	0.437	0.954	0.504	0.839
TiP	0.737	0.498	0.225	1.446
Vi/TiP	0.266	1.328	0.391	1.040
TtotP	0.962	0.152	0.407	1.008

Tabelle 14: p- und F-Werte der verschiedenen Atemparameter während der verschiedenen Pausen

6.3.3 Vergleich der Atemparameter während Test- und Pausen

Alle gemessenen Atemparameter während den Testphasen unterschieden sich signifikant von den Atemparametern während den Pausenphasen. (Tabelle 15).

	p-Wert	F-Wert (1/23)
Inspirationsvolumen Vi	0.003	4.629
Inspriationszeit Ti	0.000	95.748
Drive (Vi/Ti)	0.000	106.996
Totale Atemzeit Ttot	0.000	79.446
Minutenventilation MV	0.000	47.327

Tabelle 15: ANOVA p- und F-Werte für den Vergleich der Atemparameter der Test- und Pausenphasen

6.3.4 Unterschiede in der Atmung bei Männern und Frauen

Männer und Frauen atmen signifikant unterschiedlich. Aus der Literatur (Clausen, 1951) ist bekannt, dass Frauen einen signifikant höheren Anteil an Brustatmung (%RC) haben, als Männer. Dieser Befund konnte in der vorliegenden Studie ebenfalls auf Signifikanzniveau bestätigt werden (p= 0.002).

	p-Wert	F-Wert
%RC Test	0.006	8.339
%RC Pausen	0.256	1.361
%RC (T+P)	0.002	10.103

Tabelle 16: Zusammenstellung der ANOVA p- und F-Werte des gruppierenden Faktors Geschlecht für die Brustkorbatmung (%RC)

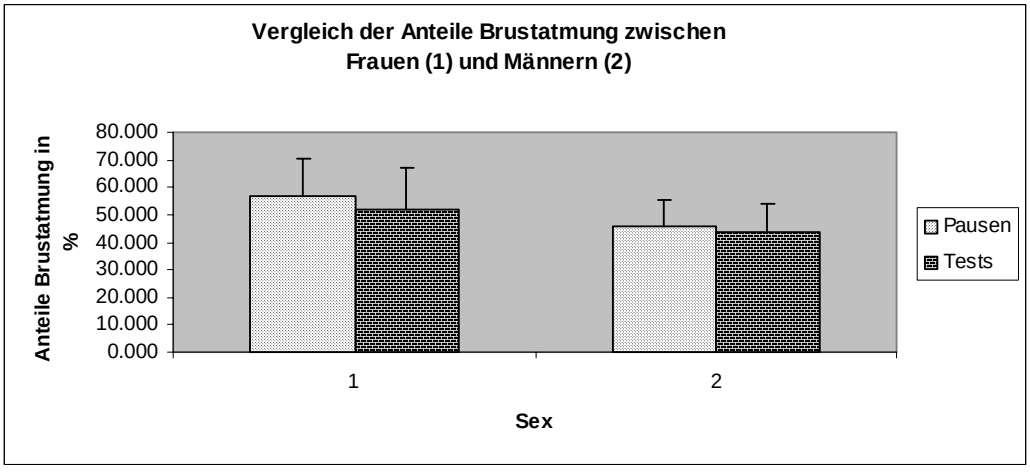


Abbildung 22: Darstellung der Anteile der Brustatmung bei Frauen und Männern am gesamten Volumen, während den Test- und Pausenphasen

Wie die Grafik (Abbildung 22) zeigt, lag der Anteil Brustatmung bei den Frauen zwischen 52 und 57 %, bei den Männern rund 10% tiefer zwischen 44 und 46 %.

Neben dem Anteil an Brustatmung wurden ebenfalls Inspirationsvolumen und Inspirationszeit untersucht, wobei bei Frauen beide Atemparameter signifikant tiefer liegen als bei den Männern. Die ANOVA Varianzanalyse zeigte, dass Männer und Frauen zwar mit unterschiedlich grossen Volumina atmen, jedoch keine Unterschiede in der Atemantwort auf die Tests zeigten (n.s. bei Atemantwort). (Tabelle 17). Da in der Atemantwort keine Unterschiede zwischen Männern und Frauen feststellbar waren, wurde in der weiteren Analyse die Atemantwort betrachtet.

		p-Wert	F-Wert
Tests	ViT	0.006	9.33
	TiT	0.083	3.293
	Vi/TiT	0.081	3.344
	TtotT	0.630	0.238
Pausen	ViP	0.005	9.717
	TiP	0.057	4.050
	Vi/TiP	0.081	3.340
	TtotP	0.926	0.009
Atemantwort	ViDelta	0.878	0.024
	TiDelta	0.654	0.206
	Vi/TiDelta	0.587	0.304
	TtotDelta	0.601	0.281

Tabelle 17: Zusammenstellung der ANOVA p- und F-Werte während Test- (T) und Pausenphasen (P) sowie der Atemantwort (Delta)für den Vergleich zwischen Männern und Frauen

6.3.4.1 Die direkte Atemantwort auf die Testanforderungen

Die nachfolgenden Analysen und Darstellungen basieren auf den absoluten Delta-Werten der Atemparameter (Atemantwort).

6.3.4.1.1 Inspirationsvolumen

Die Inspirationsvolumina unterschieden sich während den Tests signifikant (F (4/92) 3.98, p = 0.005).

Bei dem Kombitest kam es zu einer leichten, beim langsamen Tapping zu einer deutlichen Abnahme des Inspirationsvolumens. Der Trackingtest und der Multitest führten zu einer vergleichbaren Zunahme des Inspirationsvolumens, während die Zunahme beim schnellen Tapping kleiner war (Abbildung 23).

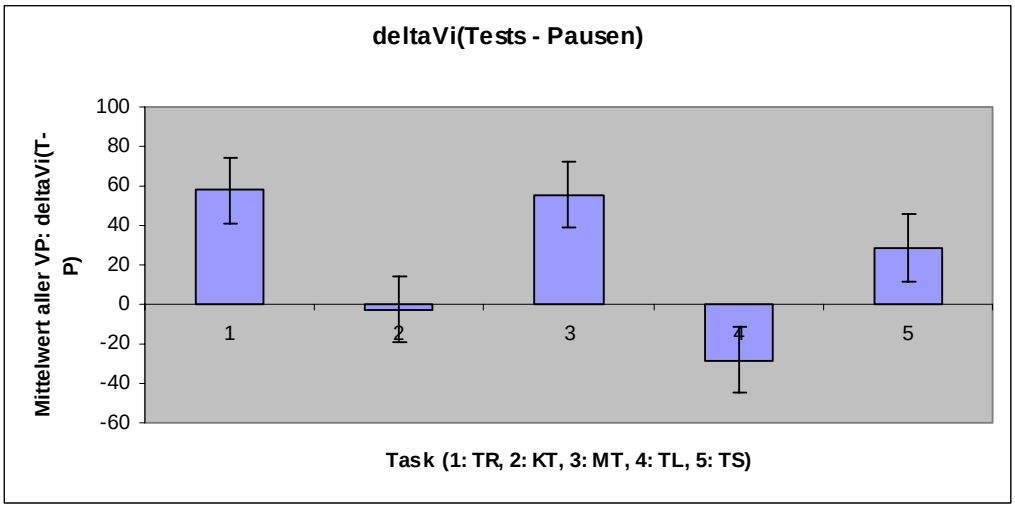


Abbildung 23: Veränderungen des Inspirationsvolumens bei den verschiedenen Tests.

Die Unterschiede wurden mittels paarweisen t-test überprüft (Task 1 ist signifikant verschieden von Task 2 und 4, Task 3 ist signifikant unterschiedlich von Task 2 und 4, und Task 4 ist signifikant verschieden von Task 5). Das bedeutet, dass die Änderung des Inspirationsvolumens beim Tracking Test und Multi.-Test gleich gross war, beim schnellen Tapping eine halb so grosse Zunahme stattfand und beim Kombi-Test und beim langsamen Tapping eine Abnahme nachzuweisen ist.

6.3.4.1.2 Die Inspirationszeit Ti

Die Inspirationszeit unterschied sich zwischen den Tests knapp nicht signifikant ($F(1/22)\ 2.192$, $p = 0.076$). Alle Aufgaben führten zu einer Abnahme der Inspirationszeit, aber von ungefähr gleichem Ausmass (Abbildung 24). Die Gesamtdauer des Atemzyklus (Ti + Te) verhält sich gleich wie die Inspirationszeit und differenziert knapp nicht ($F(1/22)\ 2.22$, $p = 0.070$) und wird nicht weiter dargestellt.

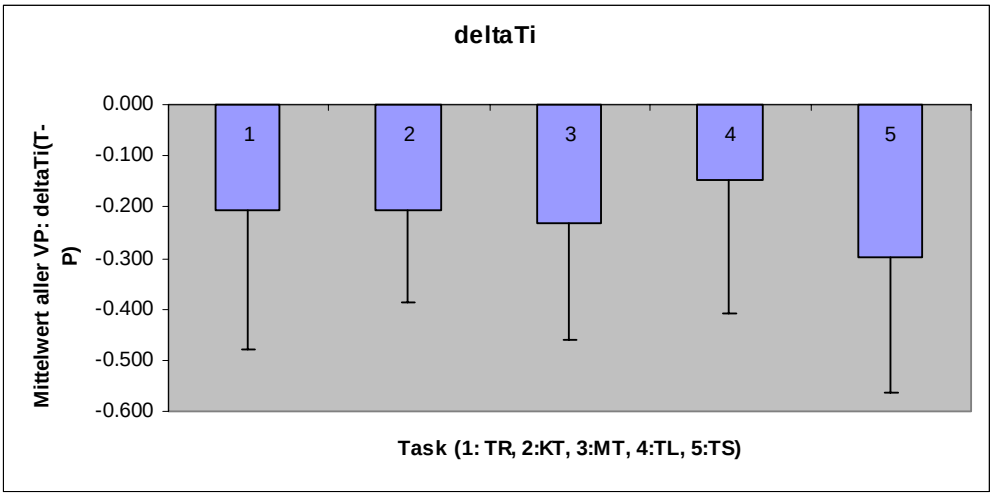


Abbildung 24: Veränderung der Inspirationszeit bei den verschiedenen Tests

6.3.4.1.3 Inhalationsfluss (Inspirationsvolumen / Inspirationszeit)

Der Inhalationsfluss differenzierte klar zwischen den Aufgaben (F 3.878 (4/92), p = 0.006) Eine vergleichbare Zunahme des Drive konnte bei dem Tracking (1), dem Multitest (3) sowie dem schnellen Tapping (5) gefunden werden. Beim Kombitest war die Zunahme von Vi/Ti etwas stärker als beim langsamen Tapping (Abbildung 25).

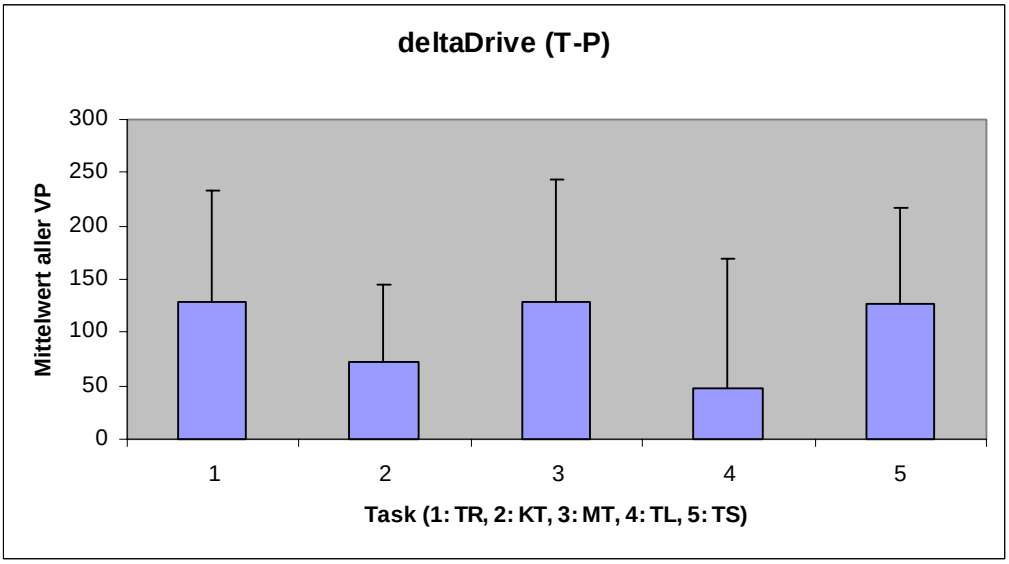


Abbildung 25: Veränderungen von Vi/Ti bei den verschiedenen Tests

6.3.4.1.4 Minutenventilation

Die Minutenventilation (MV) ist das Produkt aus Frequenz (60/Ttot) und des Inspirationsvolumens. In Tabelle 20 ist die Zunahme der MV unter den verschiedenen Aufgaben in Liter aufgeführt.

Tracking T1	Kombitest T2	Multitest T3	Tapping l T4	Tapping s T5
2211 (1574)	1557 (1237)	3026 (1609)	1170 (1001)	2817 (1583)

Tabelle 18: Zunahme der Minutenventilation in Milliliter und (SD) unter den verschiedenen Aufgaben

Die MV differenziert klar zwischen den verschiedenen Aufgaben ($F(4/92)$ 6.333, $p < 0.000$). Nur die Aufgabe 2 unterscheidet sich nicht von 4 und die Aufgabe von 5 unterscheidet sich nicht von Aufgabe 1 und 3, alle anderen Unterschiede sind signifikant. Der Multitest wies die höchste Steigerung der MV auf gefolgt vom schnellen Tapping und dem Tracking. Die niedrigste MV Zunahme wurde beim langsamen Tapping registriert.

6.3.4.2 Variabilität der Atemparameter

Die Variabilität der Atemparameter wurde auch schon in früheren Studien (Mador und Tobin, 1991; Boiten, 1998; Althaus et al., 1998) untersucht. In Anlehnung an diese Arbeiten wurde in vorliegenden Studie die Variabilität berechnet, indem die Standardabweichung durch den Mittelwert dividiert wurde (SD/mean). Dies ergab die Variabilität des entsprechenden Atemparameters in Prozent. Anschliessend wurden diese Varianzen mit dem Computerprogramm Systat® Version 9.0 for Windows® ausgewertet.

Die Variabilitäten zwischen den einzelnen Tests unterschieden sich nicht signifikant. Auch zwischen den einzelnen Pausen konnten keine signifikant unterschiedlichen Variabilitäten gefunden werden. Höchst signifikant unterschieden sich hingegen die Atemvariabilitäten zwischen Tests und Pausen. Die Varianz war bei allen Pausen signifikant höher als bei den Tests.

Die nachfolgende Tabelle 19 gibt Auskunft über die mit ANOVA, repeated Design gefundenen p- und F-Werte.

		Mittelwert d. Var.	F-Wert	p-Wert
Var. zwischen Tests				
	Vi/Ti		0.606	0.659
	Vi		1.239	0.300
	Ti		0.435	0.783
	Ttot		1.284	0.282
Var. zwischen Pausen				
	Vi/Ti		0.209	0.933
	Vi		0.524	0.718
	Ti		0.910	0.461
	Ttot		0.384	0.820
Var. zw. Tests und Pausen				
	Vi/Ti	T: 0.268, P: 1.061	279.739	0.000
	Vi	T: 0.277, P: 0.409	49.527	0.000
	Ti	T: 0.268, P: 0.404	53.694	0.000
	Ttot	T: 0.226, P: 0.321	57.121	0.000

Tabelle 19: Übersicht über die p und F-Werte der Varianzen zwischen den Tests und zwischen den Pausen, sowie zwischen Test und Pausen

6.3.5 Ergebnisse Herzfrequenz

Die von Varioport aufgezeichneten Pulsdaten wurden mittels eines Konvertierungsprogramms in Excel importiert und anschliessend mit Systat ausgewertet. Bei der Auswertung wurde analog wie bei den Atemdaten vorgegangen.

6.3.5.1 Der Puls während den Pausenphasen

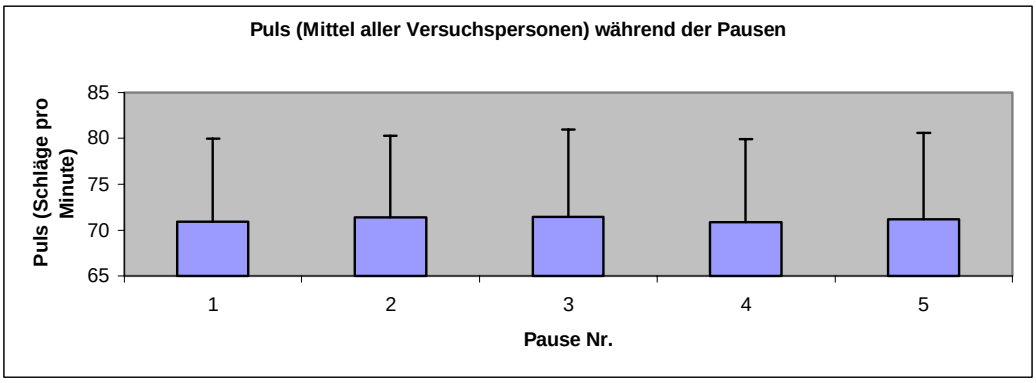


Abbildung 26: Puls während den verschiedenen Pausen (Pause 1 = Pause vor dem 1. Versuch)

Der Puls war gleich während den verschiedenen Pausen

6.3.5.2 Die direkte Pulsantwort auf die Testanforderungen: delta (T-P)

Wie zu erwarten, unterschied sich die Antwort auf die verschiedenen Tests auch bezüglich der Herzfrequenz signifikant (F 3.01 (4/92), p = 0.002). Ausser bei dem langsamen Tapping Test (Abnahme von 2.6 Schlägen pro Minute) nahm die Herzfrequenz in allen Tests zu. Die Zunahme war beim Multitest mit 2 Schlägen pro Minute am höchsten, beim Trackingtest und beim schnellen Tapping mit weniger als 0.3 Schlägen pro Minute am kleinsten. Beim Kombitest betrug die Zunahme 0.8 Schläge pro Minute (Abbildung 27).

Die Pulsveränderung ist nicht signifikant verschieden zwischen T1 und T2, T5, zwischen T2 und T3, T5, sowie zwischen T3 und T5, alle anderen sind signifikant verschieden.

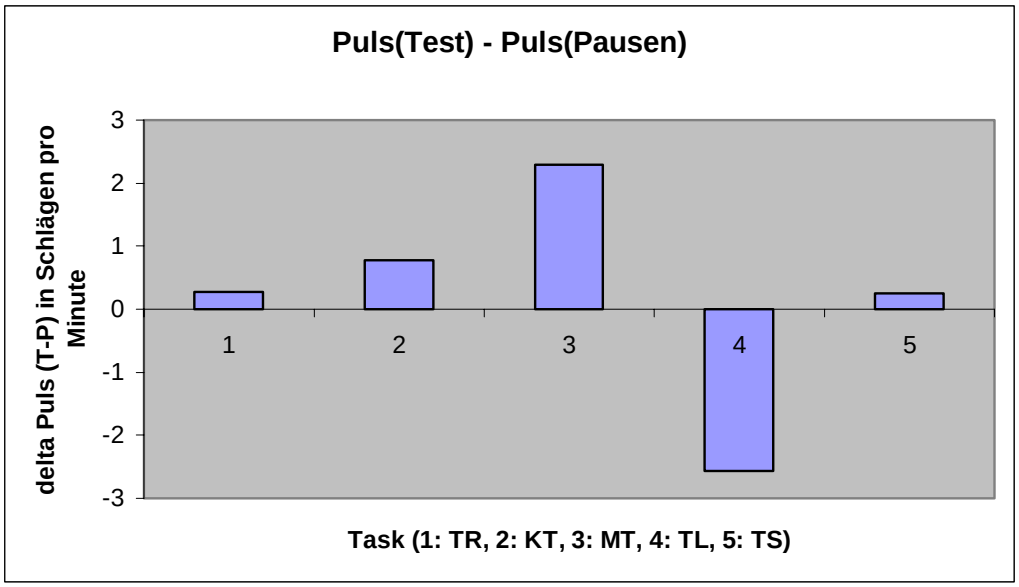


Abbildung 27: Pulsantwort auf die verschiedenen Testanforderungen

6.3.6 Ergebnisse Muskelaktivität

Die Muskelaktivität während den Testphasen war signifikant verschieden. Untersucht wurde die Aktivität des rechten und linken M. Trapezius sowie des M. Frontalis (Stirnzusammenzieher) während den fünf Tests.

	Tracking T1	Kombitest T2	Multitest T3	Tapping l T4	Tapping s T5	F(4/72) P
M. Frontalis	0.032 (0.025)	0.033 (0.019)	0.036 (0.027)	0.023 (0.01)	0.024 (0.011)	3.316 p=0.015
M. Trapezius re	0.475 (0.31)	0.051 (0.056)	0.478 (0.28)	0.132 (0.16)	0.202 (0.19)	30.12 p=0.000
M. Trapezius li	0.125 (0.09)	0.080 (0.07)	0.146 (0.11)	0.092 (0.08)	0.108 (0.10)	2.635 p=0.041

Tabelle 20: Mittelwerte der verschiedenen Muskelaktivitäten während den unterschiedlichen Aufgaben in % des Referenzwertes (SD) sowie die F und p Werte der Varianzanalyse.

Das nachfolgende Histogramm (Abbildung 28) gibt Auskunft über den gefundenen Aktivitätsverlauf von rechtem und linkem Trapezmuskel sowie vom Stirnmuskel.

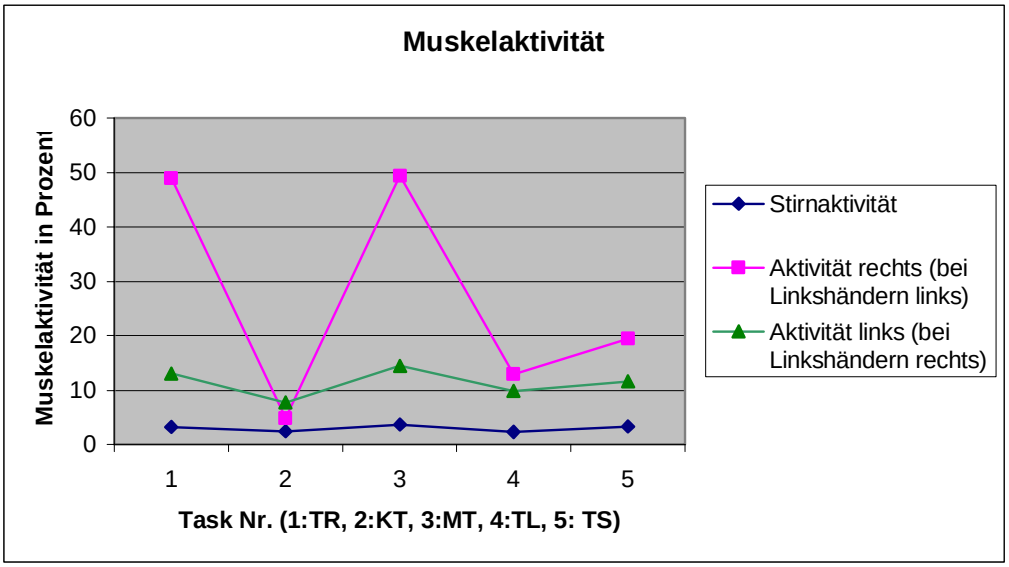


Abbildung 28: Muskelaktivität in Prozent des Referenz EMG's während den verschiedenen Tests (Mittelwerte aller VP)

Das EMG der dominanten Seite unterscheidet am klarsten zwischen den verschiedenen Aufgaben. Das EMG des dominanten Trapezius (rechts bei Rechtshändlern, links bei Linkshändlern) ist deutlich am höchsten, wenn kontinierliche Folgebewegungen (Tracking) verlangt wurden (T1 und T3),

gefolgt vom schnellen Tapping (T5). T1, T3, T5 sowie T2, T4 unterscheiden sich nicht voneinander. Auch die Aktivität des M. Frontalis unterscheidet zwischen den verschiedenen Aufgaben, wobei sich T2 von T3 und T5, T3 von T4 unterscheidet. Die Aktivität ist gleich gross während des Trackings (T1), des Multitestes (T3) und dem schnellen Tapping (T5). Die Aktivität im nicht dominanten Trapezius unterscheidet nur knapp zwischen den verschiedenen Aufgaben.

Vor dem Versuch wurde von drei Experten die verschiedenen Aufgaben auf ihre motorischen Anforderungen eingeschätzt. In der folgenden Tabelle wird die Experteneinschätzung der gefunden motorischen Aktivität gegenübergestellt (Tabelle 21).

Rang EMG Aktivität		Experteneinschätzung
1	Multitest	2
1	Trackingtest	3
3	Tapping schnell	1
4	Tapping langsam	5
5	Kombitest	4

Tabelle 21: Vergleich der Experteneinschätzung mit der tatsächlichen Muskelaktivität: Rangierung der 5 Tests nach Anforderungen an die Motorik (Rang 1: höchste Anforderung).

Die Experten überschätzten das schnelle Tapping und unterschätzten den Trackingtest.

6.3.7 Subjektiven Einschätzungen

Nach jedem Test mussten die Versuchspersonen mittels Fragebogen den gemachten Test nach Interesse, Stress (Beanspruchung), Schwierigkeit, Anstrengung und Engagement bewerten. Um eine allfällige Beeinflussung der verschiedenen Antworten zwischen den Tests zu vermeiden, wurden die Fragebogen einzeln nach jedem Test ausgeteilt und wieder eingesammelt.

Die Bewertungsskala reichte von 1 (langweilig, nicht beanspruchend, sehr leicht, nicht anstrengend, ich habe mich überhaupt nicht engagiert) bis 11 (interessant, sehr beanspruchend, sehr schwierig, sehr anstrengend, ich

habe mich sehr engagiert). Für die Auswertung wurde für jeden Test das Mittel der Bewertung aller Versuchspersonen ermittelt.

Die verschiedenen Einschätzungen wurden mittels Pearson Momentkorrelationen (Tabelle 22) miteinander in Beziehung gesetzt.

	Interesse	**Stress**	**Schwierigkeit**	**Anstrengung**	**Engagement**
Interesse	1				
Beanspruchung	0.209	1			
Schwierigkeit	0.047	0.958	1		
Anstrengung	0.269	0.963	0.913	1	
Engagement	0.081	0.826	0.905	0.789	1

Tabelle 22: Pearson correlation matrix zwischen den Bewertungskriterien für die einzelnen Tests

Bis auf das Interesse korrelierten alle anderen Einschätzungen hoch signifikant untereinander. Für weitergehende Analysen wurden daher nur noch das Interesse und die Einschätzung wie beanspruchend die Aufgabe empfunden wurde verwendet. Die verschiedenen Aufgaben wurden als verschieden beanspruchend erlebt (F 35.37 (4/96) $p < 0.000$). sowie verschieden interessant (F 34.607 (4/44) $p < 0.000$)

	Tracking	Kombitest	Multitest	Tapp.langsam.	Tapp.schnell
Beanspruchung	4.0 (1.2)	5.0 (1.1)	6.4 (0.9)	1.7 (1.0)	4.1 (1.2)
Interesse	4.8 (1.5)	8.0 (1.3)	8.5 (1.2)	1.9 (0.8)	2.9 (1.0)

Tabelle 23: Mittelwerte (SD) der subjektiven Einschätzung für die verschiedenen Aufgaben.

Der Multitest wurde als am beanspruchendsten erlebt, gefolgt vom Kombitest, das schnelle Tapping und Tracking wurde gleich eingestuft, am wenigsten beanspruchend wurde das langsame Tapping eingeschätzt (Tabelle 23). Mit der Kontrastmatrix 0, 1, 2, -3, 0 wurde dies als richtig befunden (F 56.75 (2/24) $p<0.000$). Dem Multitest und dem Kombitest wurde das grösste Interesse entgegengebracht, den beiden Tappingtests das kleinste (0, 2, 2, -3, -1, F (2/24) 46.2 $p<0.000$).

Wie bei den Motorikanforderungen wurden die kognitiven Anforderungen vorgängig durch Experten eingeschätzt. Dies ergab die Reihenfolge: Multitest 5, Kombitest 4, Tracking 3, Tapping schnell 2, Tapping langsam 1. Dies entspricht genau der Reihenfolge der subjektiven Interessenseinschätzung, entspricht aber auch recht gut der gefundenen subjektiven Beanspruchungseinschätzung.

6.3.8 Leistungsparameter

Da die Aufgabe 3, der Multitest, aus der Aufgabe 1 (Tracking alleine) und der Aufgabe 2 (Kombitest: zentraler Gedächtnistest und peripherer Reaktionstest) besteht wurde die Leistung in diesen drei Aufgaben ermittelt (siehe Tabelle Tabelle 24).

	TT mm	KRIZI %	Kreak ms	PRIZI %	Preak ms
Mulittest T3	10.3 (2.1)	63.1 (18.0)	650 (139)	91.5 (6.8)	580 (70)
Tracking T1	9.8 (2.9)	--	--	--	--
Kombi-Test T2	--	77.3 (12.1)	675 (127)	92.5 (8.1)	601 (62)
T-Test	ns	$p<0.05$	ns	ns	ns

Tabelle 24: Leistungsparameter der verschiedenen Aufgaben, wenn kombiniert (Multitest) oder alleine durchgeführt.

6.3.9 Hypothesenprüfung

Die Hypothese, dass die subjektive Einschätzung und die physiologischen Parameter – Atmung und Puls - einen Zusammenhang aufweisen wurde mittels den gefunden Kontrastmatrixen der subjektiven Einschätzung sowie der Motorik geprüft.

Matrix	Stress 0, 1, 2,-3, 0	Interesse 0, 2, 2,-3,-1	Trapezius dominant 2,-2, 2,-2,0	M. Frontalis 0,1,1 –1,-1
MV	F (1/23) 8.83 P < 0.007	F(1/23) 1.691 P = 0.2	F (1/23) 18.7 P < 0.000	F(1/23) 0.486 P = 0.49
Vi	F (1/23) 5.56 P < 0.027	F (1/23) 2.44 P = 0.13	F (1/22) 12.15 p = 0.002	F (1/23) 1.219 P = 0.28
Vi/Ti	F(1/23) 4.77 P = 0.040	F (1/23) 0.096 P = 0.76	F (1/23) 15.42 P = 0.001	F(1/23) 0.19 P = 0.667
Puls	F (1/22) 5.80 P = 0.025	F (1/22) 7.56 P = 0.008	F (1/22) 4.20 P = 0.055	F (1/22) 7,31 P = 0.013
Trapezius dominant	F (1/23) 51.7 P < 0.000	F (1/23) 2.572 P = 0.126	---	F (1/23) 15.34 P < 0.000
M. frontalis	F (1/22) 10.56 P < 0.004	F (1/23) 9.665 P = 0.006	----	----

Tabelle 25: Hypothesenprüfung mittels den entsprechenden Kontrastmatrixen

Es zeigen sich klare Zusammenhänge der Atemparameter und des Pulses indem Vi, Vi/Ti und MV mit derm dominanten Trapezius, aber auch mit der Beanspruchungsempfindung in Beziehung steht. Der Puls zeigt keine Beziehung mit dem dominanten Trapezius aber als einziger mit der Aktivierung des M. frontalis sowie mit Beanspruchung sowie Interessens Einschätzung. Der Zusammenhang mit Beanspruchung ist am deutlichsten in Vi und MV. Der dominante Trapezius sowie die Strinaktivität steht in Beziehung zur empfundenen Beanspruchung (Tabelle 25).

6.4 Diskussion

Es war das Ziel der vorliegenden Studie, die physiologischen Veränderungen aufgrund von motorischen und mentalen Aufgaben zu erfassen. Das Hauptinteresse lag dabei bei der Atmung und den möglichen Zusammenhängen zwischen Atmung und subjektiver Beanspruchung einerseits und der Aktivität von Aufgaben-irrelevanter Muskulatur, andererseits. Die wichtigsten Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung sind:

a) Der Puls, die Minutenventilation (MV), das Inhalationsvolumens (Vi) und der Inspirationsflusses (Vi/Ti) differenziert hoch zwischen den verschiedenen mentalen u./o. motorischen Aufgaben.

b) Die Änderung der Atemparameter – namentlich das MV, das Vi und Vi/Ti – weisen einen Zusammenhang mit der Aktivität des dominanten M. Trapezius auf. Diese Aktivität wiederum ist mit der Beanspruchungs-Einschätzung eng verknüpft.

c) Die Pulsantworten weisen als einzige einen Zusammenhang mit dem M. Frontalis auf, welcher, wie auch der Puls, in Beziehung steht wie interessant eine Aufgabe eingeschätzt wurde.

d) Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der subjektiven Bewertung von Beanspruchung und Vi, MV, Vi/Ti sowie mit dem Puls konnte gezeigt werden.

e) Die Aktivität des dominanten M Trapezius und des M. Frontalis stehen zwar miteinander in Beziehung, weisen aber eine ganz unterschiedliche Kontrastmatrix auf.

f) Ein Vergleich der Leistungsparameter zeigt, dass wenn Gedächtnisstest und peripherer Reaktionstest zusätzlich mit dem Tracking zu bewerkstelligen ist, sich die Leistung in der Gedächtnisaufgabe leicht verschlechtert, nicht aber in der peripheren Aufmerksamkeitsaufgabe.

Die vorliegende Untersuchung bestätigt die von die von Mador und Tobin (1991) gefundenen signifikanten Unterschiede von Atemparameter zwischen mentaler Aktivität und entspannten Wachphasen (resting wakefulness). Wir atmen schneller (Ti) und tiefer (Vi) ein, der Inspirationsfluss (Vi/Ti) sowie die Minutenventilation und Herzrate nehmen zu, wenn wir arbeiten. Zusätzlich nahm die Variabilität der Atemparameter während Arbeit ab, wie auch schon von Althaus et al., (1998) und Boiten (1998) gezeigt wurde.

Herz, Atem- und die Aktivierung Aufgaben-irrelevanter Muskulatur differenzierten klar zwischen den verschiedenen ausgeführten Aufgaben. Die gefundenen Veränderungsmuster sind deutlich unterschiedlich. Die Atempa-

rameter nahmen v.a. beim Tracking (T1), Multitest (T3) und beim schnellen Tapping zu. Diese Zunahme war durch die Vergrösserung des Inspirationsvolumens (Vi) bedingt. Die Aktivierung des dominanten Trapezius zeigte ein ähnliches Verhalten wie die Atemparameter. Die Herzrate hingegen nahm am meisten unter dem Multitest (T3), gefolgt vom Kombitest (T2) zu, wobei die Herzrate beim langsamen Tapping recht deultich abnahm. Ein ähnliches Verhalten wie die Herzrate zeigte die Aktivierung des M. frontalis. Unter den ausgeführten Aufgaben mit verschiedenen mentalen und motorischen Anteilen ergaben sich zwei verschiedene Aktivierungsmuster, wobei sich einerseits Herzrate und M. frontalis und andererseits dominanter M. Trapezius und Atmung ähnlich verhalten.

Viele Autoren (Turner und Carroll, 1985; Carroll et al., 1986, 1987; Harding 1987; Rouselle et al., 1989; Wilson & Eggemeier 1991, Grossman 1992; Wientjes 1992;) haben unter mentaler Arbeit eine Abnahme des Inspirationsvolumens gefunden. Andere Autoren (Gautier, 1969; Rigg et al., 1977, Bechbache et al., 1979; Morgan und Cameron, 1984; Allen et al., 1986; Shea et al., 1987; Allen und Crowell, 1989;) konnten keine Änderung des Inspirationsvolumens bei psychischer Belastung nachweisen. Im Gegensatz dazu haben Mador und Tobin (1991) eine Zunahme des Inspirationsvolumens während dem Lösen von arithmetischen Aufgaben gefunden. Wientjes et al (1998) stellten unter mentaler Anstrengung eine starke Zunahme des Drives (Vi/Ti) fest. In der vorliegenden Studie wurden lediglich beim Kombitest (T2) und beim langsamen Tapping (T4) eine Abnahme des Inspirationsvolumens gefunden. Bei den drei anderen Aufgaben hat das Inspirationsvolumen zugenommen. Wientjes et al. (1998) veränderten die subjektive Motivation der Versuchsteilnehmer und fanden eine Zunahme in Vi mit steigender psychomentaler Belastung. Sie schlossen daraus, dass Vi ein guter ‚Stressindikator' sein müsse.

Im vorliegenden Versuch zeigt Vi sowie auch MV und Vi/Ti ein ähnliches Verhalten wie die Aktivierung des nicht Aufgaben-relevanten dominanten Trapezius. Weber et al (1980) untersuchten die Auswirkungen von 4 verschiedenen repetitiven Aufgaben auf die Aktivierung des M. Trapezius und M Splenius capitis. Die zwei Aufgaben, die eine Diskriminierung verlangten

wiesen eine deutlich erhöhte Aktivierung der Nackenmuskulatur auf. Waersted et al (1991) konnte bei einer Untergruppe seiner Versuchspersonen aufzeigen, dass je komplexer eine Aufgabe desto höher war die Aktivierung im Trapezius. Boucsein und Thun (1996) wiesen unter gut kontrollierten Feldbedingungen die aktivational unterschiedliche Wirksamkeit von Unterbrechungen auf die Aktivierung des M. Trapezius während der Arbeit nach. Eine offizielle Kurzpause verringerte die EMG Aktivität des Trapezius, während eine erzwungenen Pause (Absturz des Computers) die Trapezius Aktivität ansteigen liess. Der M. Trapezius weist bei gesunden Versuchspersonen die höchste Frequenz von Empfindungs-Punkten (tender points) (Yunus et al 1981), Trigger Punkten (Sola et al 1955) und Berührungs Empfindlichkeit (Nakata et al 1993) unter den Aufgaben-irrelevanten Muskeln auf. Im Zusammenhang mit Arbeitsbedingungen kann eine hohe Pravalenz von Schmerz- oder klinischen Symptomen im oberen M. Trapezius aufgezeigt werden (Winkel und Westgaard 1992). Eine Aufgabe, die eine deutliche M. Trapezius Aktivierung beinhaltet birgt längerfristig die Möglichkeit Beschwerden zu verursachen. Es muss hier angefügt werden, dass die hohe Trapezius Aktivierung während der Aufgaben mit Tracking (T1 und T3) auch vereinzelte direkte Trapezius Aktivierung beinhalten kann, insbesondere wenn Positions-Änderungen des Armes durchgeführt wurden. In den gemachten Videoaufnahmen konnte dies zwar nicht bestätigt werden. Wir können aber nicht mit Sicherheit ausschliessen, dass hier eine gewisse systematische Verzerrung vorliegt und desshalb der M. Trapezius nicht vollständig als Aufgaben-irrelevante Muskulatur anzusehen ist.

Die vorliegende Untersuchung zeigt deutlich, dass Aufgaben, die eine kontinierliche oder hochfrequentige Aufmerksamkeit, Handlung, Handlungsüberwachung und -Korrektur benötigen mit einer erhöhten Aktivierung des M. Trapezius und einer Zunahme des Vi und MV einhergehen.

Die Aktivität des M. Frontalis zeigt eine anderes Muster auf, sie war insbesondere bei der Multitestaufgabe, der Kombitestaufgabe aber auch beim Tracking am höchsten und bei den beiden Tapping Aufgaben tiefer. Die Grössenordnung der M. Frontalis Aktivierung in Prozent der Maximum Voluntary Contraction entspricht den Befunden von Waersted und Westgaard

(1996). Die Trapeziusaktivität kann nicht verglichen werden, da ein anderer Referenzwert herangezogen wurde. So wurde der M. Frontalis v.a. bei denjeniegen Aufgaben stärker aktiviert die als interessanter eingestuft wurden. Die Einschätzung der kongitiven Anforderung durch die Experten entsprach genau der subjektiven Einschätzung wie interessant eine Aufgabe war. Ritz (1996) berichtet über eine Aktivierungs des M. frontalis schon während den Vorbereitungsphasen für Armanspannungsaufgaben. Einen Zusammenhang zwischen der Aktivierung des M. Frontalis und subjektiv berichteter Anspannung während Stressimagination konnten Passchier und Helm-Hylkema (1981, zit. nach Ritz 1996) aufzeigen.

Beide Veränderungsmuster zeigen ganz eindeutig Beziehungen zur subjektiven Beanspruchungseinschätzung auf. Die subjektive Beanspruchung beeinhaltet demgemäss eine Integration der induzierten Anspannung und des Interessens, das einer Aufgabe entgegengebracht wurde. Oder in anderen Worten, wie ‚blöd' eine Aufgabe ist oder wie interessant wird mit der erlebten Anspannung verrechnet. Yeh und Wickens (1988) kamen aufgrund von Untersuchungen über Leistungsparameter und subjektiven Beanspruchungseinschätzung zum Schluss, dass die beiden Indikatoren v.a. in sogenannten underload oder overload Situationen dissoziieren.

Verschiedene Autoren fanden eine Zunahme der Respirationsrate unter mentaler Arbeit (Allen & Crowell, 1989; Porges & Raskin, 1969, Grossman 1992, Harding 1987, Wientjes 1992, Wilson & Eggemeier 1991). Im Gegensatz dazu fanden Miller & Ditto (1988) eine Abnahme der Respirationsrate während einer 25-minütigen Serienaufgabe. Porges & Byrne folgern in Ihrer Studie von 1992, dass eine Zunahme der Respirationsrate mit stressvoller Aufmerksamkeit korreliert zu sein scheint, während eine Abnahme der Respirationsrate wohl Indikator einer Abnahme der Aufmerksamkeit während einer Aufgabe darstelle. Veltman & Gaillard (1998) postulierten, dass die Respirationsrate das beste Mass für mentale Arbeit darstelle. Allerdings fanden die Autoren in derselben Studie keinen direkten Zusammenhang zwischen der Aufgabenschwierigkeit und der mentalen Anstrengung sowie der Respirationsrate. Auch in der vorliegenden Untersuchung differenzierten die zeitlichen Parametern nicht zwischen den verschiedenen Aufgaben. Die MV,

das Vi, Vi/Ti und der Puls differenzieren zwischen den verschiedenen Aufgaben, wie auch die subjektiven Einschätzungen der Beanspruchung und des Interesses.

Ein Zusammenhang zwischen der Atmung und der Motorik der Extremitäten wurde von Haas et al. (1986) nachgewiesen. Tatsächlich wurde in der vorliegenden Studie eine Beziehung zwischen der motorischen Anforderung und dem Inspirationsvolumen sowie der Minutenventilation gefunden. Die gefundene Zunahme der Minutenventilation ist unter den Aufgabenbedingungen ist als gross zu werten. So nahm unter dem Multitest die Minutenventilation im Mittel um 3 Liter zu. Schleifer und Ley (1994) zeigten, dass während Entspannung die Atmung im Gleichgewicht ist mit den metabolischen Anforderungen, während mentaler Arbeit aber die Atmung den metabolischen Bedarf übersteigt, gemessen am pCO2. Auch Wientjes et al (1998) demonstrierte, dass während mentaler Arbeit leicht hyperventiliert wird. Die in unserer Untersuchung gefunden Zunahme der Minutenventilation kann nicht alleine durch die metabolischen Bedürfnisse der arbeitenden Muskulatur erklärt werden. Es ist höchst plausible, dass eine leichte Hyperventilation ausgelöst wurde insbesondere während dem Multitest (T3) dem schnellen Tapping (T5) und dem Tracking (T1).

In unserer Studie konnte ein Zusammenhang zwischen dem Puls und der Motorik und der subjektiven Beanspruchungs-Bewertung gefunden werden. In verschiedenen Studien wurde die Herzfrequenz als sensibles Mass für mentale Arbeitsbelastung gefunden (Roscoe 1992, Wilson 1992). In der vorliegenden Studie reagierte der Atemparameter MV aber wesentlich sensibler sowohl auf die gemessener muskuläre Anspannung der Nackenmuskulatur sowie auf die subjektive Bewertung. Dazu muss angemerkt werden, dass die Zusammenhänge mit Kontrast-Matrixen überprüft wurden, die letztlich Mittelwerte repräsentieren und nicht die eigentlichen subjektiven Bewertungen. Eine Berücksichtigung der individuellen Einschätzungen und der physiologischen Antworten könnte mittels individueller (für jede Versuchsperson) Rangskalierung durchgeführt werden, wobei die physiologischen Parameter den Rängen zugeordnet werden um sie dann mittels Varianzanalyse zu prüfen. Dies ist sehr aufwändig und wurde hier nicht durchgeführt. Die gefunde-

nen Zusammenhänge zwischen den Parametern sind daher als grob zu betrachten.

Die Verteilung zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen war recht gut ausgeglichen. Wie die statistische Analyse gezeigt hat, haben Männer und Frauen nicht signifikant unterschiedlich auf die gestellten Aufgaben reagiert, obwohl sie grundsätzlich unterschiedlich atmen. Das zeitliche Engagement lag für die Versuchspersonen wohl eher an der oberen Grenze. Die gefundene leichte Abnahme des Drive während den Pausen in zeitlicher Reihenfolge deutet auf eine eintretende Ermüdung gegen Ende der Versuche hin.

Die Vergleiche der Leistungsparameter zeigen, dass sich die Leistung im Gedächtnisstest verschlechtert nicht aber die Leistung im peripheren Reaktionstest wenn die beiden Aufgaben mit dem Tracking kombiniert werden. Das Tracking selber wurde davon nicht betroffen. Es zeigte sich also eine einseitige Interferenz zwischen Tracking und Gedächtnisstest. Wenn zwei oder mehr Aufgaben als Dual- oder Multipletask kombiniert werden, so werden laut Damos (1991) im allgemeinen die Leistungen in allen Aufgaben degradiert. Dies war nicht der Fall in der vorliegenden Untersuchung, nur die Leistung der Gedächtnissaufgabe wurde verschlechtert. Der Unterschied zwischen den von Damos (1991) evaluierten Dualtask Situationen und unserer Untersuchung ist, dass hier die Aufgaben einzeln als Ganzes eingeübt wurden mit Ausnahme der Tracking Aufgabe. Verschiedene Autoren haben darauf hingewiesen, dass der Grad des Trainings in jeder einzelnen Dimension einer Mehrfachverrichtung, sowie der Grad des Trainings einer Mehrfachverrichtung als Ganzes das Ausmass und die Richtung der Aufgabeninterferenz (Mc Leod 1991, p 182, Gopher und Donchin 1986) beeinflussen. Zusätzlich werden Aufgaben die das Kurzzeit oder Arbeitsgedächtniss beanspruchen als am Störungs-empfindlichsten angeschaut (Hockey 1997). Es muss aber auch erwähnt werden, dass im Multitest die Farbe des sich bewegenden (Tracking) Kreises ändert, im Kombitest liegt der farbwechselnde Kreis unbeweglich in der Mitte des Bildschirmes, zudem war der Effektor im Kombitest die dominante Hand, im Multitest die nicht dominante Hand. Der Wechsel des Effektors auf die nicht-dominante Seite könnte einerseits eine

Reaktionsverlangsamung andererseits eine implizite Degradierung der Aufgabe auslösen. Das Tracking stellt eine kontinuierliche Aufgabe dar, die dauernde Wahrnehmung des Input wie des Outputstimulus verlangt und die notwendige Handlung ist nicht einfach auf den Knopf drücken sondern eine direktionale Bewegung. Dies, zusammen mit dem Handwechsel der Gedächtnissaufgabe könnte dazu geführt haben, dass das Tracking als primäre Aufgabe angesehen wurde, auch wenn sie nie explizit als solche eingeführt wurde. Wir wissen, das eine als primär eingeschätzte Aufgabe auch unter zusätzlicher Belastung externer oder interner Art aufrechterhalten wird (Hockey 1997). Die Aufrechterhaltung des peripheren Reaktionstest kann dadurch erklärt werden, dass keine weitergehende zentrale Verarbeitung der peripheren Stimuli notwendig ist und die Drehbewegung der peripheren Stimuli eine Antwort erzwingen. Posner (1978) vergleicht die Reaktion auf ein plötzliches schnelles Erscheinen eines visuellen Stimulus in der Blickperipherie mit einer automatisch ablaufenden Orientierungsantwort; plötzliche Veränderungen in der Peripherie ziehen automatisch die Aufmerksamkeit auf sich und müssen wahrgenommen werden.

Die Reaktionszeiten der Gedächtnissaufgabe und der peripheren Reaktionsaufgabe wurden bei der Kombination mit dem Tracking nicht etwa verlängert, nein sie wurden - wenn auch nicht signifikant – verkürzt. Die Atmungsparameter sowie die Herzrate nahmen in der vorliegenden Untersuchung während der Multitest Aufgabe (Kombination von Tracking, Gedächtnis- und periphere Reaktionsaufgabe) am meisten zu, diese hohe allgemeine Aktivierung durch die Aufgabe erklärt die Verkürzung der Reaktionszeit.

Die vorliegende Untersuchung zeigt auf, dass sowohl die Atemparameter, die Herzrate und die Muskelaktivität deutlich zwischen den verschiedenen Aufgaben differenzieren, jeder Parameter zeigt Beziehungen zu den subjektiv erfassten Beanspruchungseinschätzungen, wobei diese besonders ausgeprägt ist bei der M. Trapezius Aktivierung und der Minutenventilation. Alle Parameter weisen ein spezifisches Muster auf sowie Abweichungen (Dissoziationen) untereinander. Die Atemparameter, insbesondere die Minutenventilation und das Inhalationsvolumen, stehen in Beziehung zum EMG des M. Trapezius, die Herzrate zum M. Frontalis. Aus klinischer Sicht dürfte die Ak-

tivierung des M. Trapezius relevanter eingestuft werden, als die M. Frontalis Aktivierung. Die Zunahme der Minutenventilation ist höher als metabolisch gerechtfertigt und deutet darauf hin, dass die beanspruchenden Aufgaben eine gewisse Hyperventilation induzierten.

7 Experiment III: Einfluss von Gerüchen auf Atmung und mentale Performance

7.1 Fragestellung

Wir sind fähig, geringste Mengen von Umweltsubstanzen zu riechen und sie als angenehm oder unangenehm zu klassifizieren. Einflüsse von Gerüchen auf unser Verhalten und die mentale Leistung sind Phänomene die generell akzeptiert werden, obwohl die wissenschaftliche Beweisführung als mangelhaft einzustufen ist. Shustermann (1992) zeigte auf, dass Geruchsbelästigungen einem grossen Anteil der eingereichten Beschwerden an die zuständigen US Air Pollution Behörden zugrunde liegen

Untersuchungen über Geruchsauswirkungen auf die mentale Leistung konnten in der Mehrzahl keine direkten Auswirkungen nachweisen. So wurde eine kognitiven Aufgabe von 5 Jahre alten Kindern gleich gut gelöst in einem geruchsfreien oder in Räumen mit verschiedenen Gerüchen. Die Kinder wurden vorgängig einer Situation unterzogen, wo ein Geruch vorhanden war und sie ein frustrierenden Erlebnis hatten. Wenn in der nachfolgenden Aufgabensituation dieser spezielle Geruch vorhanden war, zeigten diese Kinder eine Abnahme in der kongitiven Leistung. Die Untersuchung wies nach, dass die Gerüche auf die experimentelle Situation konditioniert wurden und das Verhalten der Kinder beeinflusste (Epple und Herz 1999). Gilbert et al (1997) untersuchten die Auswirkungen von Gerüchen auf die Stimmung und die Leistung und fanden keinen Einfluss darauf, die Suggestion eines Geruches hingegen bewirkte eine Geschlechts- abhängige Interaktion auf die Leistung in einer sogenannten digit-span-deletion Aufgabe. In all diesen Untersuchungen war der Untersuchungs-Raum mit einem angenehmen oder unangenehmen Geruch ‚parfümiert' ohne, dass man dies den Versuchspersonen mitgeteilt hätte, und die Versuchspersonen nahmen den Geruch meist nicht bewusst wahr. Auch die Auswirkungen von periodisch schnell anschwellenden Geruchsexpositionen, auf die mentale Leistung wurde untersucht (Knasko 1993). Die Geruchexpositionsart ist hier ganz anders und es kann davon ausgegangen werden, dass die Geruchsexpositionen bewusst wahrgenommen wurden. Aber auch hier konnten keine Auswirkungen auf die

Leistung festgestellt werden. Diejenigen Versuchspersonen, die zu übelriechenden Gerüchen exponiert wurden berichteten, dass sie meinten, der Geruch hätte eine negative Auswirkung auf ihre Leistung, Stimmung und Gesundheit ausgeübt. Degel und Köster (1999) liessen eine Gruppe von Versuchspersonen in einem Raum mit Lavendel-Duft, die andere in einem Raum mit Jasmin-Duft eine mathematische und eine sprachliche Aufgabe lösen. Die Leistung der Versuchspersonen, die im Lavendel-Raum gearbeitet hatten war besser als die der Jasmin-Raum Gruppe. Keine dieser Studien untersuchte die Auswirkungen auf physiologische Parameter.

Leistungsveränderungen durch oder unter dem Einfluss von Umweltstressoren werden entweder durch eine Steigerung der zentralen Aktivierung (arousal) durch den Stressor oder durch Ablenkung erklärt (Loeb 1986, Hockey 1997). Das Konzept der gesteigerten zentralen Aktivierung kann zu Sharpless und Jasper (1956), Malmo (1959) und Duffy (1962) zurückverfolgt werden. Diese nahmen an, dass die zentrale Aktivierung abhängig ist von der Menge des sensorischen Inputs sowie vom Grad der momentanen Tätigkeit und dass, ein Aktivierungs-Optimum besteht, unter oder über dem die Leistung abnimmt (vergl. Yerkes-Dodson law). Dieses Konzept wurde z.B. von Degel und Köster (1999) herangezogen um zu begründen warum unter dem erregenden Duft die Leistung abnahm und unter dem beruhigenden Duft die Leistung verbessert wurde. Die Ablenkungshypothese nimmt an, dass Umweltstimuli eine psychophysiologische Antwort auszulösen vermögen. Diese Reiz-Antwort sei mit den Aufgabenanforderungen inkompatibel und degradiere damit die Leistung. Die Reaktionsgrundlage dafür bilden angeborene Orientierungs- und Schreckreaktionen, die eine Abwehrreaktion nach sich ziehen können. Broadbent (1979) nahm an, dass kontinuierliche, nicht-neue Reize keine Ablenkung verursachen. Gemäss dieser Konzeption ist Ablenkung durch Veränderungen in unserer Umwelt bedingt und Aktivierungsverschiebungen werden durch kontinuierliche Stimulation ausgelöst.

Die übliche Interpretation von Pavlov (1927) und Sokolov (1963) geht davon aus, das jede Veränderung in unserer Umwelt ausreicht um eine Orientierungsantwort auszulösen. Das erscheint in Anbetracht der Variabilität unserer Umgebung nicht plausibel (Ben-Shakhar et al 2000). Bernstein (1979)

argumentierte, dass eine Reizänderung allein nicht genügt um eine Orientierungsantwort auszulösen und schlug als zusätzliche Bedingung die Reiz-Wichtigkeit (Signifikanz) vor. Lang et al (1997) meint, dass Reiz-Wichtigkeit im Zusammenhang mit der motivationalen (emotionalen) Bedeutung eines Reizes steht. Die Hypothese, die dieser Untersuchung zugrunde liegt, geht davon aus, dass gemäss der emotionalen Valenz der Geruchsreize eine Orientierungsreaktion ausgelöst wird, und wenn dies während mentaler Arbeit geschieht, bewirkt dies eine Leistungsverminderung.

Die hier präsentierte Untersuchung wurde entworfen, um die langzeitlichen und kurzeitigen Einflüsse verschiedener Gerüche auf die Atmung zu erfassen; einerseits während Ruhe, andererseits während einer mentalen Aufgabe. Ferner um den Einfluss der verschiedenen Gerüche auf die Leistung der mentalen Aufgabe zu untersuchen. Die vier verwendeten Gerüche waren:

1. Pentylacetat, das fruchtig und nach Bananen riecht ($C_7H_{14}O_2$)
2. Menthol, riecht nach Pfefferminze ($C_{10}H_{18}O$)
3. H2S, riecht nach Fäkalien (Hydrogensulfid)
4. NH3 riecht nach verrottetem Käse oder Fensterputzmittel (Ammoniak)

Die Gerüche wurden dergestalt ausgewählt, dass 2 von ihnen üblicherweise als angenehm (Pentylacetat und Menthon), zwei als unangenehm wahrgenommen werden (H2S und NH3), sowie dass Variationen in der Aktivierung von olfaktorischen und trigeminalen Rezeptoren bestehen. Pentylacetat und Menthon aktivieren beide Rezeptortypen, H2S fast ausschliesslich olfaktorische und NH3 v.a. trigeminale Rezeptoren.

7.2 Methodik

Die Versuche fanden in der Klimakammer des Instituts für Hygiene und Arbeitsphysiologie während der Sommersemesterferien statt. Der Versuch wurde der Ethik-Kommission der ETHZ vorgängig unterbreitet und von dieser bewilligt. Der Versuch wurde als 6x4 within Subjekt Design angelegt.

7.2.1 Versuchspersonen

Insgesamt wurden 15 Versuchspersonen (Vp) rekrutiert. Die Teilnahme war vollständig freiwillig und erfolgte telefonisch oder über E-Mail aufgrund eines Aushanges, der an diversen Orten der Universität und ETH Zürich angebracht worden war. Die Bedingungen für eine Teilnahme waren, dass die Vp NichtraucherInnen waren, keine Allergien aufwiesen, zur Zeit des Versuches gesund waren, keine Medikamente einnahmen und an keiner Klaustrophobie (Platz- Raumangst) litten. Die Vp erhielten Fr. 180.— für den gesamten Versuch. Nach jeder Sitzung wurden den Vp Getränke und ein Snack angeboten.

7.2.2 Versuchsdesign und Sitzungsablauf

Die Versuchspersonen nahmen an total 6 Sitzungen teil, davon waren 2 Vor-Sitzungen und 4 eigentliche Geruchssitzungen. Eine Geruchssitzung beinhaltete total 6 Phasen, 2 ohne Geruch, 2 mit schwachem Geruch (individuelle Geruchsschwelle) und 2 mit stärkerem Geruch (doppelte Geruchsschwelle). Jede Geruchskonzentration sowie die Reinluft wurde einerseits unter Ruhebedingungen und andererseits während einer mentalen Aufgabe (Multi-Test) präsentiert. Die vier Geruchssitzungen sowie die Sequenz der Phasen wurden mittels eines Zufallsgenerators randomisiert. Der Beginn einer Sitzung war immer eine Ruhephase und jeder Ruhephase folgte eine Arbeitsphase. Am Ende jeder Phase füllten die Vp ein graphisches Differential aus. In den zwei Vorsitzungen wurde die individuelle Geruchsschwelle für die 4 verschiedenen Gerüche mittels desselben Luftzufuhrsystems wie später im eigentlichen Versuch angewendet und ausgetestet, mit dem zusätzlichen

Effekt, dass sich die VP an die experimentelle Situation gewöhnen konnten. Das Freiburger Persönlichkeitsinventar wurde in der ersten Vorsitzung ausgefüllt. In beiden Vorsitzungen wurde die mentale Aufgabe zweimal geübt. Am Ende der 6 Sitzungen folgte eine abschliessende Befragung und ein Debriefing. Darin wurden den Versuchspersonen die Namen und die Reihenfolge der Gerüche mitgeteilt.

7.2.3 Apparatur

Die Vp wurden an einen Schreibtisch gesetzt, Stuhl und Tisch ergonomisch eingestellt und eine Nasen- und Mundatmungsmaske angepasst (T-förmiges TV Ventil, Adults (schmal oder medium) Hans Rudolph Inc. MO, USA). Die Maske war via Zwei-Weg-Ventil mit der Luftzufuhr verbunden, die ausgeatmete Luft wurde durch eine Kapelle nach draussen weggeführt. Pentylacetat und Menthon, lagen in flüssiger Form vor**,** Hydrogensulfid (H2S) und Ammoniak (NH3), wurden beide aufbewahrt in Gasflaschen. Die Zubereitung und Zufuhr der Geruchskonzentrationen ist in Abbildung 31.

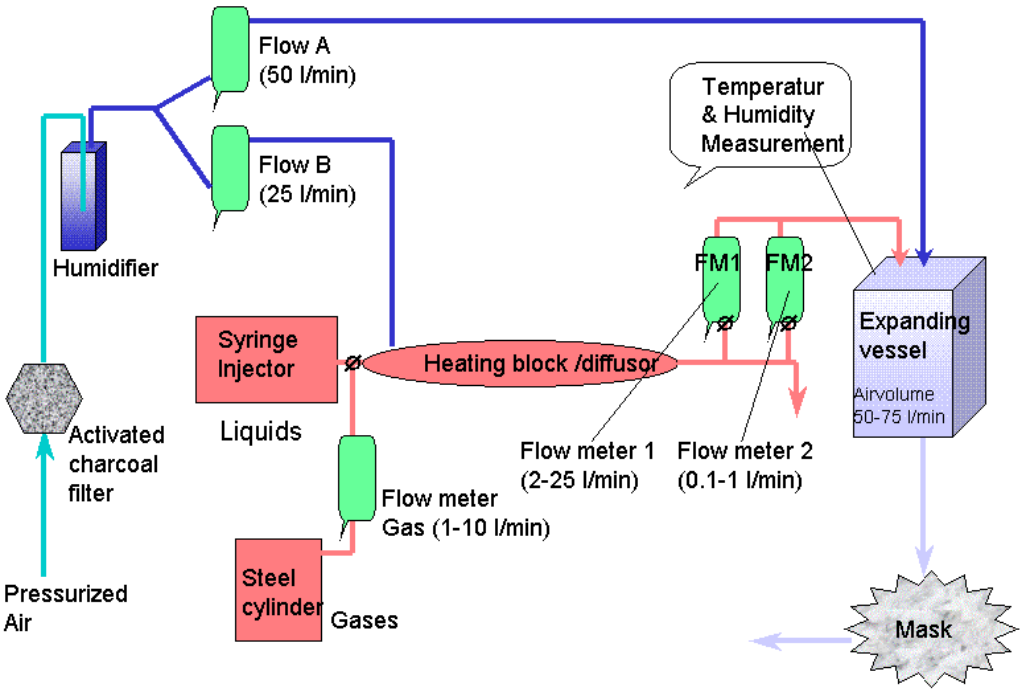


Abbildung 29: Zubereitung und Verabreichung der Gerüche

Zuerst wurde Pressluft durch einen Aktivkohlenfilter gepresst und dann in einem schwach geheizten Befeuchter auf 50% Luftfeuchtigkeit gebracht. Danach teilte sich der Luftstrom: Luftfluss A wurde direkt in den Verteilungskessel geleitet, Luftfluss B wurde als Träger der Gerüche eingesetzt. Flüssige Gerüche wurden durch einen Spritzenvorschub in einen Diffusor mit einem Heizblock eingespritzt. Die gasförmigen Chemikalien wurden von der Gasflasche direkt in den Diffusor gegeben. Durch verschiedene Rotameter konnte der „parfümierte“ Luftfluss geregelt und in den Verteilkessel geleitet werden, woraus abgeatmet wurde.

7.2.4 Geruchsschwellenbestimmung

Zur Bestimmung der individuellen Geruchsschwellen wurde den Vp zuerst reine Luft angeboten, dann Luft mit einer minimalen Geruchskonzentration mittels desselben Geruchsaufbereitungs- und Zuführungssystem, wie oben beschrieben. Die Geruchskonzentration wurde schrittweise erhöht, jeweils intermittierend mit reiner Luft, bis die Vp angab den Stoff zu riechen. Zur Kontrolle wurden noch zwei höhere Konzentrationen verabreicht. Nach einer Pause von einer Minute wurde das Prozedere wiederholt. Pro Geruch wurde dieses Vorgehen drei Mal wiederholt. Die individuelle Geruchsschwelle ergab jene Konzentration, bei der die Vp mit Sicherheit alle drei Male das Riechen des Geruchs bestätigte. In Tabelle 26 sind die individuellen Geruchsschwellen zusammengestellt.

7.2.5 Atemparameter

Die Aufnahme und Auswertung der Atemparameter ist im Kapitel „Aufbau einer Atemmustermessumgebung“ detailliert beschreiben, kann also dort nachgelesen werden.

7.2.6 Mentale Aufgabe, Multi-Test

Der Multi-Test ist ein trimodaler Computertest, bestehend aus einem Trackingtest, einem Gedächtnistest und einem peripheren Aufmerksamkeitstest. Eine genaue Beschreibung des Multitestes findet sich im Kapitel „Verschiedene mentale Augaben“. Bei diesem Versuch spielt die Leistung oder wie sie

gemessen werden kann eine Rolle; darum wird hier speziell darauf eingegangen. Der Vp standen ein Bildschirm, eine Tastatur, ein Digitalisierbrett und ein Stift zur Verfügung. Auf dem Bildschirm wurde die Stiftspitze als Kreis sichtbar. Der Arbeitsplatz konnte auch für Linkshändler eingerichtet werden, ergonomische Kriterien wurden berücksichtigt um es der Vp so bequem wie möglich zu gestalten. Mit der einen Hand führte die Vp den Stift, mit der anderen Hand musste sie zwei Tasten auf der Tastatur bedienen.

Beim Trackingtest bewegt sich ein Zielobjekt auf einer zufälligen, nicht sichtbaren Bahn. Die Vp musste dem Zielobjekt (ähnlich einer Kaulquappe) mit dem Stift möglichst genau folgen. Die Abweichungen zwischen Zielobjekt und Kreis werden in Pixels gemessen und stellt den Leistungsscore des Trackingtests dar.

Das Zielobjekt des Trackingtestes veränderte in regelmässigen Abständen seine Farbe, erschien also in rot oder blau oder grün. Die Vp musste sich die Reihenfolge der Farben merken. Sobald die drei Farben einzeln hintereinander erschienen waren, musste die Vp eine Taste auf der Tastatur drücken.

Für den Gedächtnistest gab es drei Leistungs-Scores: einen qualitativen Parameter (richtige Antworten pro gegebene Antworten), einen quantitativen Parameter (richtige Antworten pro vorgegebene richtige Sequenz), sowie die Reaktionszeit.

In jeder Ecke des Bildschirmes befand sich ein kleiner, gemusterter Kreis. In unregelmässigen Abständen begann einer der Kreise zu zittern. Sobald ein Kreis anfing zu zittern muss die Vp die zweite Taste auf der Tastatur drücken. Die Leistung im peripheren Aufmerksamkeitstest wurde analog zum Gedächtnistest mit drei Leistungsparametern beschrieben.

7.2.7 Fragebogen

- Jede Vp musste zu Beginn der ersten Sitzung Angaben zu ihrer Person machen.

- Freiburger Persönlichkeitsinventar (FPI): Von den 12 Persönlichkeitsdimensionen wurden 3 zwecks genauerer Beschreibung der Versuchsperso-

nen herangezogen: Körperliche Beschwerden, Gesundheitssorgen und Extraversion/Introversion.

- Semantisches Differential: Die Vp musste in den Geruchssitzungen nach jeder Versuchsphase ihre subjektive Emotionslage anhand des Self-Assessment-Manikin (SAM) von Lang (1980) einschätzen. Lang hat das SAM als ein non-verbales Beurteilungsverfahren konstruiert. Es enthält drei Bildserien, welche die Dimensionen ‚Valenz', ‚Erregung' und ‚Dominanz' darstellen. Jede Dimension zeigt eine Bildserie von 5 Figuren. Die Valenzdimension erstreckt sich von einem lächelnden (=angenehmen) bis zu einem völlig unerfreulichen (=unangenehmen) Gesichtsausdruck. Die Erregungsdimension führt von ‚erregt' – viele Zacken in der Bauchregion, Augen weit geöffnet – bis zur Dimension ‚ruhig' – zackenfreie Bauchregion, Augen geschlossen. Die Dominanzdimension beginnt mit einer kleinen Figur im grossen Raum (=submissiv) und endet mit einer den Rahmen überbordenden Figur (=dominant). Die Vp mussten in jeder Dimension an jener Stelle, die ihren Gefühlseindruck am besten wiedergab, ein Kreuz anbringen. Dadurch, dass sie dieses Kreuz auf einem Bild oder zwischen zwei Bildern setzten konnten, ergab sich eine 9-stufige Skala.

- Schlussbefragung und Debriefing: Am Ende der letzten Sitzung wurden die Vp nach dem allgemeinen Befinden während des Versuches gefragt sowie nach dem angenehmsten, bzw. unangenehmsten Geruch. Im Debriefing wurden sie über die Gerüche, die sie eingeatmet hatten, informiert.

7.2.8 Datenanalyse

Zur Datenanalyse wurde die Statistiksoftware SPSS 8.0.1 für Windows benutzt. Die Daten wurden zuerst auf die spezifischen Voraussetzungen der statistischen Analysen geprüft. Da Messwiederholungen vorlagen, wurden univariate ein- und mehrfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholungen angewendet. Die Atemparameter Inhalations- und Exhalationsvolumen einer ganzen Sitzung wurden mit den gesetzten Markern geplottet und optisch auf Abweichungen (z.B. loses Band) oder ungewöhnliches Verhalten inspiziert. Keiner der Plots musste zurückgewiesen werden. Um die Atemantwort auf Gerüche zu untersuchen, wurden zwei Auswertungswege be-

nutzt. Zum einen wurde der Mittelwert jeder Vp über die zwei Minuten in der Ruhephase oder während der mentalen Arbeit, in denen der Geruch anwesend war (oder kein Geruch = Kontrollphasen), ermittelt. Die Perfomance-Parameter wurden ebenso behandelt, d. h. nur die Zeitdauer, in welcher der Geruch anwesend war, wurde ausgewertet (die gesamte mentale Aufgabe dauerte 5 Minuten). Zum andern wurde die kurzzeitige Atemantwort analysiert, indem der Median des 2. bis 6. Atemzuges nach dem Geruchsstimulus in Prozent des Medianes des 6. bis 2. Geruches vor dem Geruchstimulus ausgedrückt wurde. Der Stimulus-Beginn konnte immer einem Atemzug zugeordnet werden (= 1. Atemzug), da die Pausen zum Atemzug gerechnet wurden. Weil ein speziell tiefer oder langer Atemzug den Median nicht so stark beeinflusst wie den Mittelwert, wurde der Median bevorzugt. Diese Analyse beschränkte sich auf die Atemparameter Ti und Vi sowie auf den abgeleiteten Parameter Vi/Ti.

Die Mittelwerte der Atemparameter sowie der Performance Parameter wurden mittels uni- oder mehrfaktorieller Varianzanalyse mit Messwiederholungen, mit Kognition (Ruhe oder mentale Arbeit), Geruch, Geruchsintensität als within-Faktoren und dem Geschlecht als gruppierender Faktor analysiert. Für die Signifikanz wurde der Huyn-Feldt p-Wert herangezogen. Unterschiede zwischen den kurzzeitigen Atemantworten mit oder ohne Geruch wurden mittels Wilcoxon geprüft. Post-hoc-Überprüfung von Unterschieden wurden mittels gepaarten t-Test evaluiert. P-Werte < 0.05 wurden als signifikant betrachtet. Interaktionen mit dem Geschlecht werden erwähnt aber nicht ausführlich diskutiert (zu kleine Probandenzahl).

7.3 Resultate

7.3.1 Versuchspersonen:

Insgesamt wurden 15 Versuchpersonen rekrutiert, davon konnten die Daten von 12 Personen verwendet werden. 2 Versuchpersonen sind ausgeschieden, weil sie die Situation nicht ertrugen, 1 Versuchsperson wurde ausgeschlossen, da eine Volumenkalibration des Respitrace nicht möglich war.

No.	Alter	Sex	Geruchsschwelle mg/m^3	FPI

			Pentyl-acetat	Men-thon	H_2S	NH_3	Koebe	Gesorg	Extrav
1	27	m	0.232	0.046	0.009	3.2	2	4	5
2	24	m	0.450	0.115	0.018	4.0	4	4	6
3	22	w	0.184	0.046	0.012	4.0	5	8	6
5	24	m	0.232	0.092	0.023	4.0	2	4	3
7	23	m	0.139	0.142	0.018	7.7	4	1	7
8	24	w	1.124	0.283	0.022	7.7	3	4	6
9	26	w	0.899	0.190	0.013	4.5	1	1	6
10	22	w	1.124	0.142	0.007	6.2	7	3	2
11	20	m	0.460	0.142	0.018	4.7	4	6	1
13	36	w	0.368	0.142	0.044	6.2	4	2	4
14	24	w	0.347	0.188	0.007	4.7	4	4	3
15	26	m	1.124	0.190	0.009	3.2	7	6	5
Mean	24.8	6 w	0.557	0.143	0.017	5.008	3.9	3.9	4.5
Median (SD)	24	6 m	(0.368)	(0.066)	(0.010)	(1.57)	4.0	4.0	5

Tabelle 26: Charakterisierung der Versuchpersonen und individuelle Geruchsschwellen

Das Geschlecht war genau verteilt: 6 weibliche und 6 männliche Versuchspersonen wurden gestestet, 2 davon waren Linkshändler. Das mittlere Alter betrug 24.8 Jahre (Median 24). Zur besseren Beschreibung der Versuchpersonen sind die Parameter Körperliche Beschwerden (Koebe, 1= nie bis 9= massive), Gesundheitliche Sorgen (Gesorg,1 = unbesorgt bis 9 = völlig besorgt) und Extraversion/Introversion (Extra, 1 = introvertiert bis 9 = extravertiert) des FPI aufgeführt.

7.3.2 Atemparameter

7.3.2.1 Auswertung der Atemparameter über 2 Minuten

Ausgewertet wurden jeweils die 2 Minuten, in denen ein Geruch präsent war. Bei den Phasen, in denen kein Geruch vorhanden war, wurden ebenfalls die mittleren 2 Minuten ausgewertet. Tabelle 27 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen unter den verschiedenen Bedingungen, aufgeteilt nach Gerüchen. Mittels des General-Linear-Modells mit Messwiederholungen wurden die Within-Faktoren Geruch, Geruchsintensität (kein Geruch, Geruch,

Geruch/ Variable	**RO**	**R1**	**R2**	**MO**	**M1**	**M2**

Pentylacetat						
Ti (s)	1.63 (0.22)	1.59 (0.20)	1.55 (0.22)	1.45 (0.09)	1.45 (0.13)	1.48 (0.07)
Ti/Te	0.85 (0.22)	0.82 (0.19)	0.79 (0.16)	0.69 (0.06)	0.69 (0.07)	0.7 (0.05)
Vi (ml)	541 (179)	523 (188)	590 (218)	597 (221)	593 (200)	586 (220)
Vi/Ti (ml/s)	337(126)	421 (185)	385 (169)	417 (174)	411 (136)	397 (147)
MV (ml/min)	7963 (2513)	7401 (2458)	8666 (3310)	11304 (3950)	11041 (3703)	11190 (4180)
RR (AZ/min)	15.17(3.1)	14.69(3.3)	15.06(3.2)	19.3 (4.2)	18.9(4.1)	19.3(3.8)
Menthon						
Ti (s)	1.55 (0.17)	1.58 (0.23)	1.54 (0.16)	1.46 (0.9)	1.46 (0.17)	1.49 (0.17)
Ti/Te	0.78 (0.17)	0.81 (0.24)	0.78 (0.13)	0.69 (0.07)	0.69 (0.07)	0.69 (0.07)
Vi (ml)	522 (164)	551 (174)	562 (138)	619 (190)	605 (188)	610 (196)
Vi/Ti (ml/s)	344 (132)	354 (124)	368 (105)	420 (120)	414 (127)	417 (151)
MV (ml/min)	789 (2636)	7580 (1919)	7862 (1902)	11568 (3304)	11264 (3536)	11100 (3553)
RR (AZ/min)	15.21(2.5)	14.23 (2.9)	14.24 (2.3)	18.7 (3.9)	18.8 (3.9)	18.49 (4.2)
H_2S						
Ti (s)	1.53 (0.19)	1.57 (0.24)	1.53 (0.19)	1.49 (0.10)	1.48 (0.08)	1.49 (0.08)
Ti/Te	0.81 (0.19)	0.81 (0.19)	0.76 (0.15)	0.71 (0.08)	0.71 (0.06)	0.70 (0.07)
Vi (ml)	539 (177)	548 (219)	557 (204)	624 (251)	602 (237)	645 (282)
Vi/Ti (ml/s)	362 (143)	363 (175)	375 (165)	417 (160)	404 (153)	435 (206)
MV (ml/min)	7816 (2424)	8702 (3560)	8671 (3010)	12054 (4815)	11374 (4488)	11900 (4332)
RR (AZ/min)	14.78 (2.2)	16.3 (4.3)	16.1 (3.9)	19.63 (3.4)	19.2 (3.4)	19.09 (3.5)
NH_3						
Ti (s)	1.65 (0.22)	1.63 (0.41)	1.53 (0.15)	1.46 (0.13)	1.49 (0.12)	1.40 (0.14)
Ti/Te	0.85 (0.24)	0.79 (0.2)	0.76 (0.11)	0.69 (0.09)	0.72 (0.07)	0.67 (0.08)
Vi (ml)	556 (168)	549 (147)	514 (158)	609 (159)	606 (173)	600 (190)
Vi/Ti (ml/s)	337 (97)	359 (129)	338 (110)	417 (112)	407 (119)	436 (163)
MV (ml/min)	8233 (2069)	7845 (2266)	8428 (2608)	11429 (3323)	11552 (3369)	11093 (3513)
RR (AZ/min)	15.5 (4.1)	14.65 (3.4)	16.93 (4.7)	18.99 (3.9)	19.2 (2.5)	18.7 (3.1)

Tabelle 27: Mittelwerte und Standardabweichung der einzelnen Atemparameter aufgeschlüsselt nach Gerüchen.

stärkerer Geruch), und die Kognition (Ruhe oder mentale Aufgabe) sowie der between-Faktor Sex untersucht. Wie in der Tabelle 28 ersichtlich, wird bei den meisten Atemparametern und Gerüchen der Einfluss der Kognition

sichtbar. Der Geruch und die Geruchsintensität haben keinen Einfluss auf die Atemparameter.

Variable	Geruch		Intensität		Kognition		Sex		Inter.
	f(3/30)	H-F	f(2/20) f(1/10)	H-F	f(1/10)	H-F	f(1/10)	HF	
Vi	0.08	0.97	0.99	0.38	8.60	**0.015**	0.67	0.45	--
(0 excl.)	0.15	0.92	1.94	0.19	7.09	**0.024**	0.28	0.6	G/I/K/S
(nur GS2)	0.061	0.059	--	--	4.56	0.056			--
Ti	2.42	0.094	1.20	0.32	25.2	**0.001**	0.72	0.41	--
(0 excl.)	3.94*	**0.025***	2.6	0.13	25.49	**0.000**	0.61	0.45	G/S
(nur GS2)	6.08	**0.002**	--	--	23.31	**0.001**			--
Vi/Ti	0.51	0.67	2.17	0.15	41.5	**0.000**	0.00	0.95	--
(0 excl.)	0.79	0.5	6.8	**0.026**	39.05	**0.000**	0.01	0.89	G/K/S
(nur GS2)	0.94	0.44	--	--	34.57	**0.000**			--
RR	2.57	0.091	0.54	0.47	17.1	**0.002**	0.48	0.5	--
(0 excl.)	2.73*	0.092*	1.79	0.21	15.86	**0.003**	0.56	0.46	G/IK
(nur GS2)	3.10*	**0.050***	--	--	11.52	**0.006**			--
RC%	0.24	0.63	1.64	0.22	13.0	**0.005**	2.12	0.17	K/S-
(0 excl.)	0.31	0.80	0.75	0.40	9.91	**0.010**	2.50	0.14	K/S
(nur GS2)	0.39	0.74	--	--	5.91	**0.033**			K/S
Ti/Te	0.49	0.68	3.22	0.075	7.49	**0.021**	2.48	0.14	--
(0 excl.)	0.79	0.5	2.74	0.129	6.46	**0.029**	1.83	0.20	--
(nur GS2)	2.14	0.11	--	--	8.60	**0.014**			--
MV	0.55	0.65	2.51	0.106	24.0	**0.001**	0.1	0.75	--
(0 excl.)	0.79	0.50	9.60	**0.011**	23.19	**0.001**	0.12	0.72	G/K/S
(nur GS2)	0.76	0.51	--	--	19.97	**0.001**			--

Tabelle 28: General Linear Modell mit Geruch, Geruchsintensität und Kognition als within Faktor und Sex als between Subjekt Faktor. G = Geruch, I = Intensität,K = Kognition, H-F = p von Huyn-Feldt. * Varianzgleichheit nicht erfüllt. (0excl.)=Phasen ohne Geruch weggelassen, (nur GS2)= nur Phasen mit stärkerem Geruch (2xGeruchsschwelle)

Da die geruchsfreien Phasen den einzelnen Gerüchen zugeordnet sind und den Geruchseinfluss verdünnen könnten wurden sie ausgeschlossen und die Analyse nochmals durchgeführt (Tabelle 28 (0 excl.)). Wiederum war der Einfluss der Kognition hoch signifikant, der Geruch nur in Ti; (cave: Varianz Voraussetzungen nicht erfüllt). Die Intensität des Geruches wurde in Vi/Ti und in MV signifikant. Vi/Ti und MV nimmt unter allen Gerüchen mit steigender Intensität zu, signifikante Unterschiede zwischen niedriger Geruchsintensität und höherer Geruchsintensität wurden für Vi/Ti unter H2S ($T=-2.32$, $p< 0.05$) und für MV unter Pentylacetat ($t=-2.54$, $p<0.05$) gefunden.

Da der schwächere Geruch so gewählt wurde, dass er für jede Person die bei ihr vorher ermittelte Geruchsschwelle darstellt – und damit nur gerade knapp wahrnehmbar war -, wurde explorativ nur die Bedingungen mit stärkerem Geruch in die Berechnungen mit einbezogen. Ferner wurde der between-Faktor Geschlecht weggelassen, da nur Interaktionen mit dem Geschlecht signifikant wurden. Damit ging der within-Faktor Intensität verloren. Wie aus Tabelle 28 (nur GS2) ersichtlich, wurde der Einfluss des Geruches in Ti und RR signifikant.

Es zeigt sich also deutlich, dass der Geruch einen Einfluss auf Ti ausübt, gemittelt über die zwei Minuten, in denen der Geruch anwesend war. Um den Einfluss zu verdeutlichen ist in Abbildung 30 Ti als Box-Plot für die verschiedenen Gerüche sowie für Ruhe und mentale Arbeit dargestellt. Es zeigt sich, dass Ti unabhängig von der mentalen Arbeit bei Menthol und Ammoniak (Geruch 2 und 4) kürzer ist als bei den Gerüchen Pentylacetat und Schwefelwasserstoff. Die Frequenz (RR) verhält sich gleich wie Ti und wurde, da keine Varianzgleichheit besteht, nicht aufgezeichnet. Um das Verhalten von Ti unter NH3 und Menthon zu überprüfen wurden diese beiden Gerüche separat einer Varianzanalyse unterzogen. Der Effekt der Geruchsintensität auf Ti wird bei NH3 signifikant ($F\ 4.26$, $p = 0.048$), nicht aber bei Menthon.

Verschiedene Interaktion wurden festgestellt, wie in Tabelle 28 ersichtlich. Nur die Interaktion zwischen Kognition und Geschlecht in der Variable %RC ist erster Ordnung und weist darauf hin, dass unter der mentalen Arbeit die Männer stärker mit dem Zwerchfell atmeten, die Frauen aber nicht.

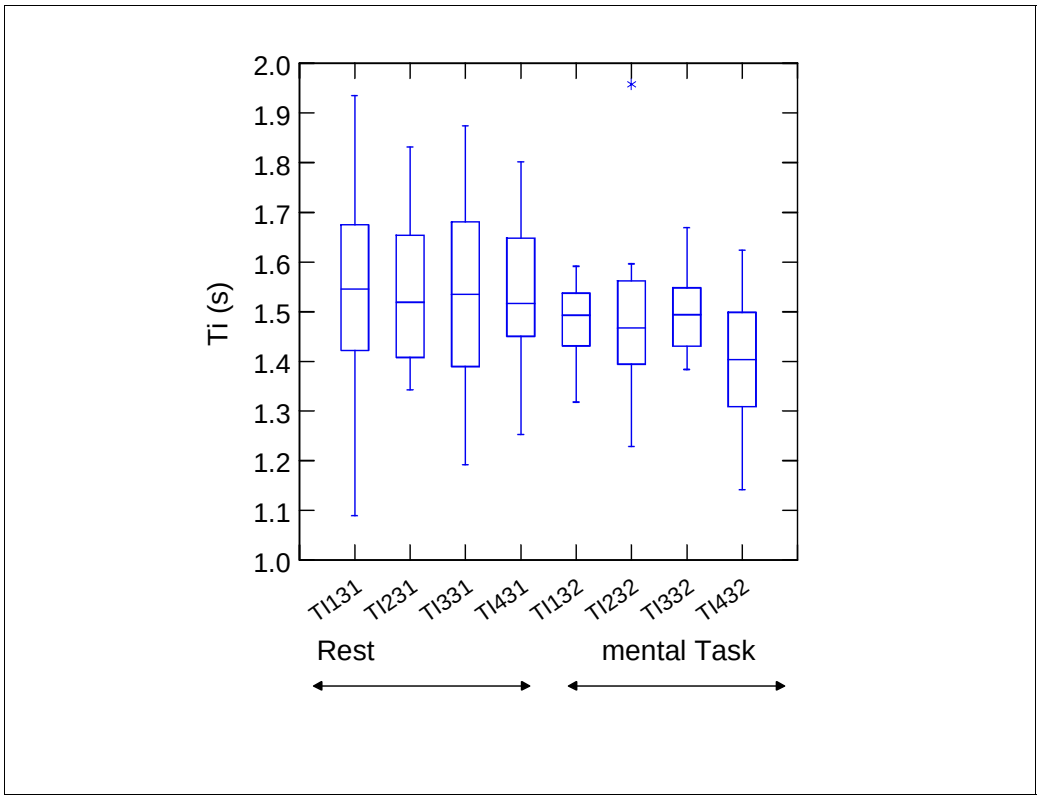
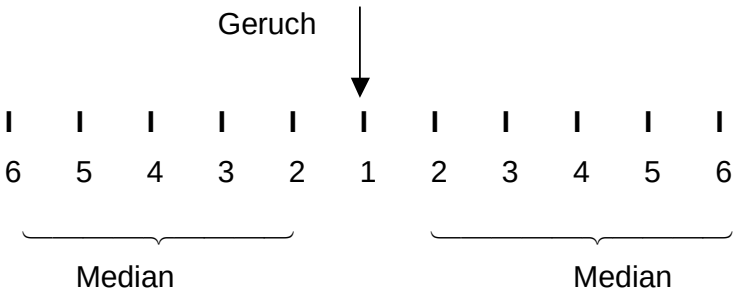


Abbildung 30:Ti dargestellt als Box-Plot aufgetrennt in Gerüche und Bedingungen, wobei nur Ruhe mit stärkerem Geruch und mentale Aufgabe mit stärkerem Geruch dargestellt sind. Die Geruchsreihenfolge ist 1=Pentylacetat, 2= Menthone, 3= H2S, 4= NH3

Der Einfluss der mentalen Arbeit konnte in allen Atemparametern hoch signifikant nachgewiesen werden. Der Einfluss des Geruches ist weniger ausgeprägt und nur in der Einatmungszeit (Ti) zuverlässig ersichtlich. Es zeigt sich, dass bei NH3-Exposition abhängig von der Geruchsintensität schneller eingeatmet wird.

7.3.2.2 Auswertung über 5 Atemzüge vor und nach Geruchsstimulus

Da kurz nach dem Geruchsstimulus eine Geruchsantwort optisch sichtbar wurde, gingen wir zurück zu den Rohdaten und analysierten die Phasen ohne Geruch sowie die Phasen mit dem stärkeren Geruch wie folgt:



Der Median des 2. – 6. Atemzuges nach dem Geruch wurde in % des Medians des 6. –2. Atemzuges vor dem Geruch ausgedrückt. Mit dem Wilcoxon-Test wurde geprüft, ob ein Unterschied zwischen den Phasen ohne Geruch und den Phasen mit Geruch besteht (Tabelle 29). Untersucht wurden die Atemparameter Ti und Vi/Ti (Drive).

Geruch	Ti/Vi (Drive)		7.3.2.3 Ti	
	R2	M2	R2	M2
Pentylacetat				
RO	ns	--	ns	--
MO	--	ns	--	ns
Menthon				
RO	ns	--	ns	--
MO	--	ns	--	ns
H2S				
RO	Z= -1.49, p=0.13	--	Z=-1.57, p=0.06	--
MO	--	Z=-2.8, p=0.005	--	Z=-1.98,p=0.01
NH3				
RO	Z=-2.19,p=0.02	--	Z=-1.73,p=0.08	--
MO	--	Z=-2.35,p=0.019	--	Z=-2.59,p=0.01

Tabelle 29: Resultate des Wilcoxon-Tests über Drive und Ti nach Geruch in % vor Geruch. ns = p>0.5

Die Atmung veränderte sich gerade nach dem Geruchsreiz nur unter NH3 und H2S und nur unter der höheren Geruchsintensität. Bei den beiden Gerüchen Ammoniak (NH3) und Schwefelwasserstoff (H2S) zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Phasen ohne Geruch (RO, MO) und den Phasen mit dem stärkeren Geruch (R2 und M2). Wie die Box-Plot-Darstellung (Abbildung 31) illustriert, ist der Drive nach dem Geruch kleiner und das Ti ist verlängert.

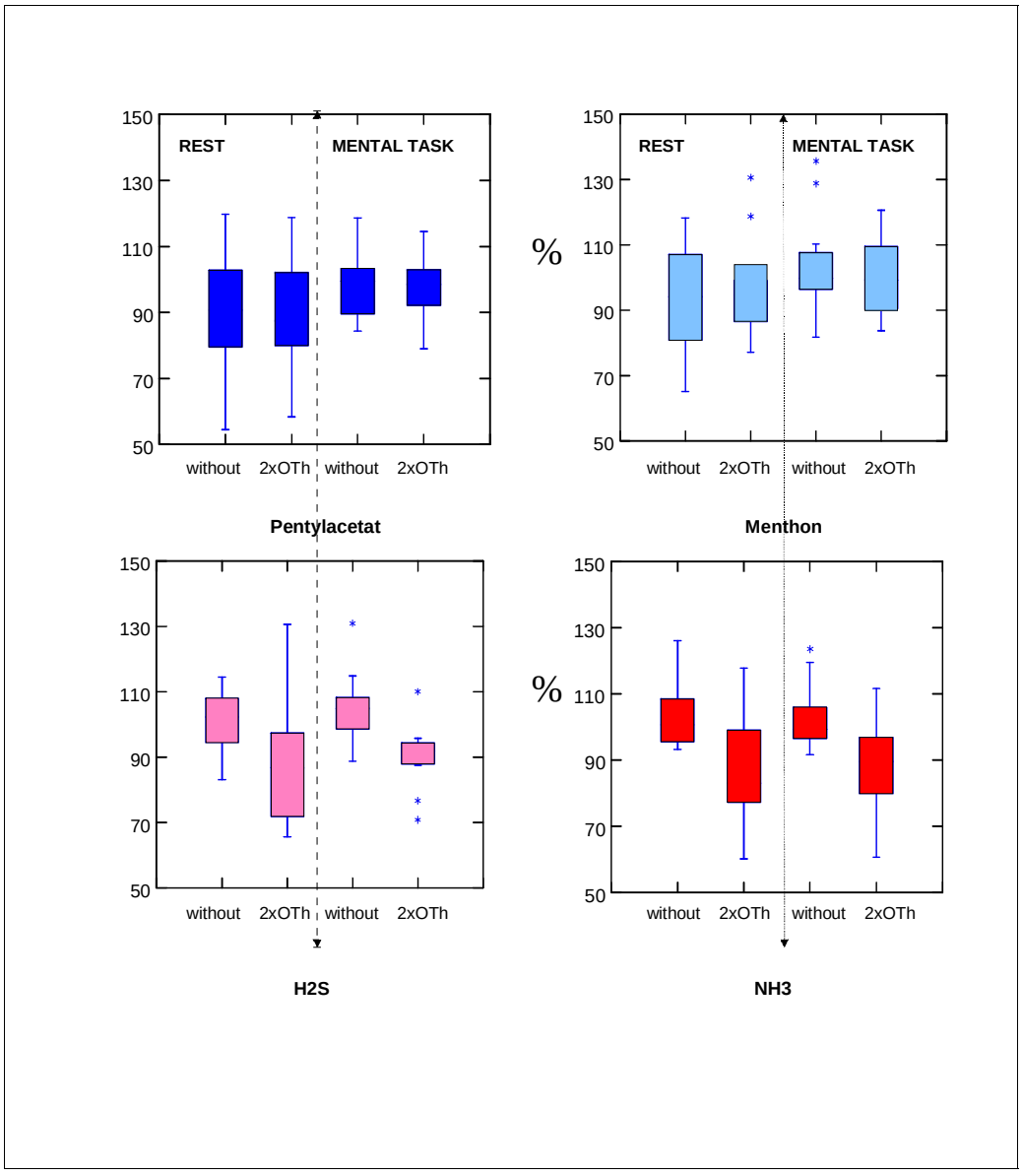


Abbildung 31: Box-Plot von Vi/Ti nach Stimulus in % vor Stimulus für die 4 Gerüche.

Ein genauer Blick in die Daten unter mentaler Arbeit (M-Phasen) und den Gerüchen H2S und NH3 zeigte, dass wenn kein H2S Geruchsreiz gegeben wurde von 12 Versuchspersonen (VP), 4 (VP) eine Abnahme (↓) und 8 VP eine Zunahme (↑), davon 1 Person > 12% in Vi/Ti aufwiesen, bei schwachem H2S Geruch: 8 VP↓, davon 4 VP > 12% in Vi/Ti, stärkere H2S Geruch: 11↓, davon 7 > 12% in Vi/Ti. Kein NH3 Reiz: 6 VP ↓, 6 Vp ↑ in Vi/Ti, schwa-

cher NH3 Geruch: 4↑, 8↓, davon 6> 12%, stärkerer NH3 Geruch: 11↓, davon 8 > 12% in Vi/Ti.

Um zu testen, ob bei den Atemantworten auf den Stimulus wirklich ein Unterschied zwischen den verschiedenen Gerüchen besteht, wurde die Veränderung des Drives ((Drive nach keinem Geruch in % vor keinem Geruch (RO, MO)) minus (Drive nach Geruch in % vor Geruch (R2, M2)) für jeden Geruch mittels GLM mit dem within-Faktor Geruch und dem between-Faktor Sex analysiert, wobei der Geruchseinfluss (F = 6.049, p = 0.002) hochsignifikant wird. Abbildung 32 zeigt die Veränderung von Vi/Ti für die verschiedenen Gerüche.

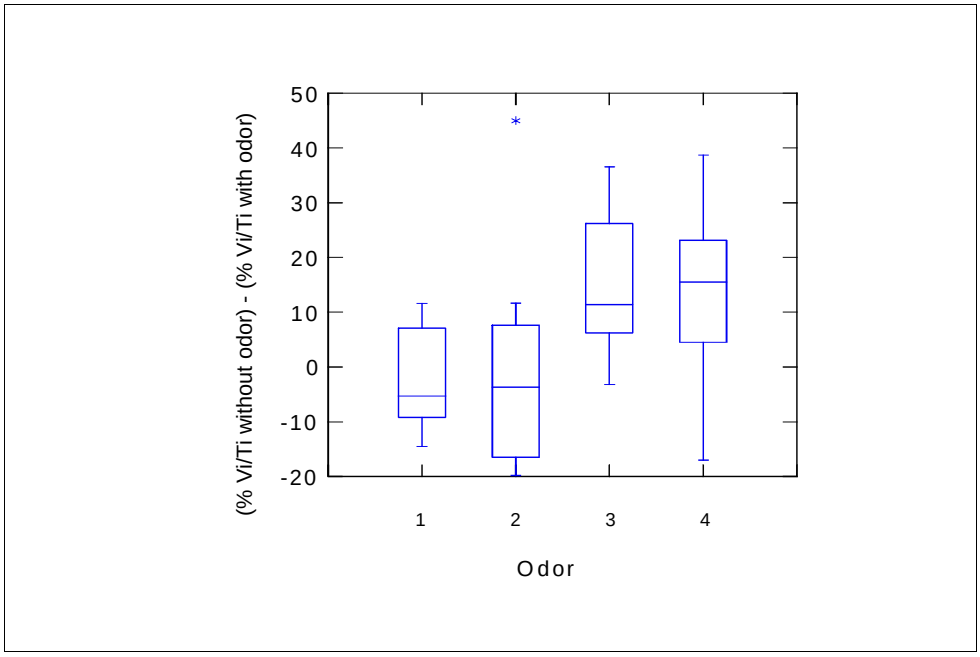


Abbildung 32: zeigt als Box-Plot die, wie oben beschrieben, errechneten Differenzen in Vi/Ti während der mentalen Arbeit für die verschiedenen Gerüche. 1 = Pentylacetat, 2= Menthon, 3 = H2S, 4 = NH3, wobei H2S und NH3 beide signifikant unterschiedlich sind von Menthon und Pentylacetat.

Es zeigt sich also, dass bei der kurzzeitigen Geruchsantwort ein deutlicher Unterschied zwischen den Gerüchen Pentylacetat und Menthone einerseits und Schwefelwasserstoff und Ammoniak andererseits besteht.

7.3.3 Performance

7.3.3.1 Parameter und ihre Bedeutung:

Wie im Methodikteil beschrieben, besteht der Multitest aus drei Aufgaben. Die primäre Aufgabe ist das Tracking des umherschwirrenden Punktes mittels eines Stiftes. Die Variable aus dem Tracking ist der Abstand vom Cursor zur Mitte des Punktes, genannt TT. Die zweite Aufgabe ist der zentrale Memory Test, wobei immer dann eine Taste zu drücken ist, wenn rot/blau/grün als Sequenz (Reihenfolge der Farben ist nicht zu berücksichtigen) in der Mitte des Bildschirmes aufgeflackert ist. Die Variablen aus dem zentralen Memory-Test sind Reaktionszeit (KRE), % richtiger Tastendrücke per Zielvorgabe in % (KRIZI), Anzahl richtig pro Tastendruck (KRITA). In der dritten Aufgabe geht es um die periphere Aufmerksamkeit; man muss eine Taste drücken, wenn in irgendeiner Ecke ein Kreislein sich dreht. Die daraus resultierenden Variablen sind: Reaktionszeit (PRE), % richtiger Tastendruck pro Zielvorgabe (PRIZI) sowie Anzahl richtig pro Tastendruck (PRITA). Mittelwerte siehe Tabelle 30.

Variable	Geruch	Mo	M1	M2
TT	Pentac	10.7 (2.8)	10.5 (2.8)	10.3 (2.1)
	Menthon	10.0 (2.3)	9.8 (2.9)	10.3 (2.4)
	H2S	10.6 (2.6)	10.9 (2.3)	10.7 (2.9)
	NH3	10.5 (2.6)	10.6 (2.4)	10.6 (2.6)
KRE	Pentac	639 (126)	641 (73)	665 (104)
	Menthon	664 (137)	631 (203)	623 (217)
	H2S	650 (141)	608 (95)	643 (116)
	NH3	665 (121)	666 (160)	668 (146)
KRIZI	Pentac	58.9 (22.3)	61.1 (19.8)	58.9 (16.8)
	Menthon	66.3 (23.2)	67.1 (17.6)	65.5 (21.1)
	H2S	63.0 (18.0)	61.5 (15.1)	54.5 (20.4)
	NH3	65.1 (16.8)	62.5 (18.1)	53.3 (17.5)
PRE	Pentac	602 (64)	596 (59)	583 (57)
	Menthon	591 (62)	590 (56)	605 (75)
	H2S	580 (69)	587 (64)	581 (62)
	NH3	571 (62)	582 (54)	612 (62)
PRIZI	Pentac	84.8 (10.1)	88.3 (6.8)	87.7 (8.8)
	Menthon	91.5 (6.8)	92.9 (7.0)	91.1 (6.7)
	H2S	91.3 (9.2)	89.2 (11.4)	89.2 (9.2)
	NH3	92.5 (8.1)	93.3 (9.0)	91.2 (11.0)

Tabelle 30: Mittelwerte und Standardabweichungen der wichtigsten Performance Parameter (KR = Anzahl Richtige im Gedächtnistest, nicht korrigiert für Zielvorgaben)

Sex als between-Faktor und Geruch und Geruchsintensität als within-Faktoren wurden in die Varianzanalyse aufgenommen und zuerst über alle Phasen getestet. Zweitens wurde der Einfluss nur über die Phasen mit Gerüchen und drittens nur mit stärkerem Geruch ausgewertet. In der Tabelle 31 sind nur jene Variablen aufgeführt, die Signifikanzen erzielten. Wie ersichtlich, wird bei der Variablen KRIZI (Anzahl richtige Antworten pro geforderte Antworten im zentralen Gedächtnistest), der Geruch, die Geruchsintensität sowie die Interaktion zwischen Geschlecht und Intensität signifikant. In der Reaktionszeit des peripheren Aufmerksamkeitstests (PRE) wird die Interaktion Geruch/Intensität signifikant, wenn nur über die stärkeren Gerüche analysiert, wird der Geruch signifikant.

Variable	Geruch		G*S		Intensität		I*S		G*I	
	f(3/24)		f(3/24)							
KRIZI	2.35	0.095	2.40	0.09	7.16(2/16)	0.005	6.64(2/16)	0.007	0.5(6/48)	0.80
KRIZI (0 excl.)	3.45	0.032	0.93	0.46	7.85(1/8)	0.023	12.1(1/8)	0.007	1.02(3/24)	0.40
KRIZI (nur G2)	2.25	0.10	0.24	0.86	--		--		--	
PRE	1.06	0.38	0.83	0.49	1.10(2/16)	0.35	1.41(2/16)	0.27	2.47(6/48)	0.037
PRE (0 excl.)	2.35	0.098	0.77	0.51	0.5 (1/8)	--	0.74(1/8)	---	3.074(3/24)	0.047
PRE (nur G2)	3.65	0.027	1.23	0.32	--		--		--	

Tabelle 31: GLM mit Performance Variabeln als Abhängige, Geruch und Intensität als within Faktor und Sex als Between-Faktor, (O excl) = RO und MO ausgeschlossen, (nur G2) = nur über die Phasen mit stärkerem Geruch. I*S = Interaktion Intensität/Sex, G*S = Interaktion Geruch/Sex.

Die Anzahl richtige Antworten im peripheren Aufmerksamkeitstest wird durch die Gerüche jedoch nicht beeinflusst. Im zentralen Gedächtnistest zeigt die Reaktionszeit (KRE, nicht aufgeführt) keinen Einfluss der Gerüche. Das bedeutet, dass beim peripheren Reaktionstest die Reaktionszeit beeinflusst wird, das Resultat aber aufrechterhalten bleibt. Beim zentralen Gedächtnistest jedoch leidet die Aufgabe (KRIZI) nicht jedoch die Reaktionszeit (KRE),

das bedeutet, dass der Einfluss der Gerüche sich nicht auf die Reaktionszeit auswirkt**,** wohl aber die Wahrnehmung der Farb-Sequenz beeinflusst.

Abbildung 35 zeigt die Anzahl richtiger Antworten pro geforderte Antworten im Gedächtnistest (KRIZI). Die Lösung der Aufgaben im mentalen Test verschlechtert sich, wenn H2S oder NH3 eingeatmet wird. Dies ist besonders ausgeprägt unter NH3, die beiden angenehmen Gerüche verursachen keine Verschlechterung. Dies wurde mit dem Kontrast 1, 1, -1, -1 geprüft ($f=10.89$, $p = 0.009$). Die unangenehmen Gerüche verschlechtern die Leistung im Gedächtnistest.

In Abbildung 36 ist die Reaktionszeit (PRE) im peripheren Aufmerksamkeitstest dargestellt. Die Reaktionszeit wird unter NH3 verlangsamt und nimmt unter Pentylacetat ab. Unter Menthon und H2S bleibt die Reaktionszeit ungefähr gleich. Dies wurde mittels der Kontrastmatrix (–1, 0, 0, 1, $f = 5.776$, $p = 0.028$) als richtig befunden. Es ist zu vermerken, dass die Abnahme der Reaktionszeit zwischen geruchsfreier Phase und Phase mit stärkerem Geruch beim Pentylacetat ($t = 1.33$) nicht signifikant verschieden ist, bei NH3 hingegen besteht ein signifikanter Unterschied ($t = - 3.164$, $p<0.01$).

Auf den Trackingtest hatten die Gerüche keine Auswirkung. Die Auswirkungen der Gerüche auf den zentralen Gedächtnistest und auf den peripheren Aufmerksamkeits-Test waren verschiedenartig, indem beim Gedächtnistest die Anzahl richtiger Antworten betroffen waren, also das Resultat, beim peripheren Aufmerksamkeitstest hingegen die Schnelligkeit der Reaktion beeinflusst wurde.

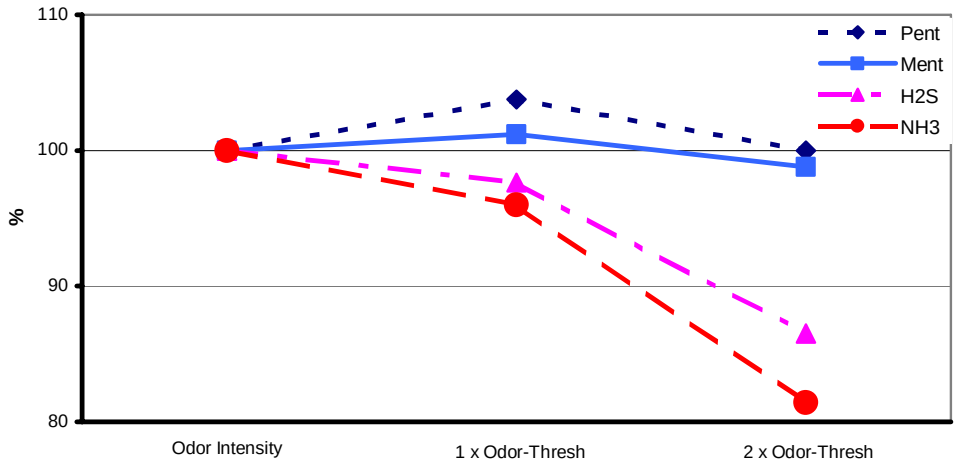


Abbildung 33: Anzahl richtige Antworten pro Zielvorgabe im Gedächtnistest in Abhängigkeit der Gerüche, ausgedrückt als % der geruchsfreien Phase

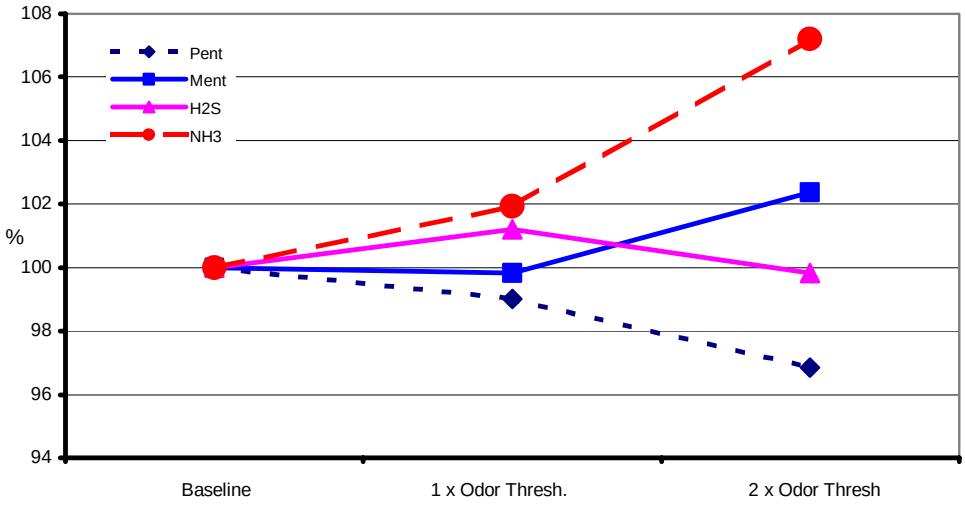


Abbildung 34: Reaktionszeit im peripheren Aufmerksamkeitstest in Abhängigkeit der Gerüche ausgedrückt in % der geruchsfreien Phase.

7.3.4 Subjektive Einschätzung

Nach jeder Phase, sei es Ruhe oder mentale Arbeit, wurde von den Versuchspersonen ein grafisches Differenzial ausgefüllt, bei dem sie angeben mussten, wie angenehm/ unangenehm, erregend/ nicht erregend und dominierend/ nicht dominierend sie sich fühlen. In Tabelle 32 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen aufgeführt, aufgeteilt nach Gerüchen und Bedingungen.

Geruch	Bedingung	Valenz		Erregung (Arousal)		Dominanz	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Pentylacetat	RO	2.33	0.77	4.79	0.39	3.0	1.14
	R1	2.29	0.75	4.66	0.65	2.95	1.01
	R2	2.20	0.72	4.54	0.65	3.12	0.80
	MO	2.50	0.52	3.95	0.96	3.33	0.61
	M1	2.45	0.94	3.95	1.13	3.33	0.68
	M2	2.16	0.93	4.16	0.80	3.08	1.08
Menthon	RO	2.33	0.87	4.58	0.66	2.87	0.74
	R1	2.50	0.52	4.58	0.55	3.00	0.63
	R2	2.20	0.83	4.62	0.48	3.12	0.74
	MO	2.16	0.91	3.77	0.85	3.33	0.65
	M1	2.29	0.62	3.75	1.13	3.41	0.66
	M2	2.41	0.90	3.75	1.21	3.33	0.65
H_2S	RO	2.68	0.64	4.58	0.54	2.97	0.86
	R1	2.37	0.67	4.25	0.94	3.08	0.90
	R2	2.70	0.75	4.58	0.51	2.95	0.89
	MO	2.5	0.70	4.25	0.86	3.16	0.74
	M1	2.45	0.94	4.0	1.02	3.37	0.64
	M2	2.95	0.68	4.0	1.10	3.08	0.70
NH_3	RO	2.41	0.67	4.58	0.76	2.95	0.86
	R1	2.45	0.62	4.62	0.60	2.95	0.86
	R2	2.37	0.93	4.54	0.78	2.66	1.09
	MO	2.41	0.97	4.25	0.83	3.25	0.65
	M1	2.41	0.63	4.29	0.78	3.37	0.52
	M2	2.87	0.93	4.08	1.14	3.12	0.64

Tabelle 32: Mittelwerte der subjektiven Einschätzung der Valenz, Erregung und Dominanz aufgetrennt nach Gerüchen und Phasen.

Variable		Geruch		Kognition		K*S		G*K		GKS	
		f(3/30)	p	f(1/19)	p	f(1/10)	p	f(3/30)	p	f(3/30)	p
Valenz	ohne Oer	3.66	0.028	0.24	0.17	2.14	0.15	1.42	0.25	0.96	0.40
Valenz	nur G2	3.76	0.02	0.22	0.70	0.00	--	1.92	0.14	1.07	0.37
Arousal	ohne Oer	1.04	0.38	7.21	0.023	0.02	0.88	2.95	0.049	0.39	0.76
Arousal	nur G2	0.33	0.80	5,80	0.037	0.02	0.89	1.78	0.17	1.47	0.23
Dominanz	ohne Oer	1.50	0.24	7.74	0.019	7.75	0.019	1.88	0.16	1.08	0.37
Dominanz	nur G2	0.95	0.34	0.0	--	0.10	0.76	1.76	0.18	5.45	0.004

Tabelle 33: Einfluss von Geruch (G), Intensität (I) und Kognition (K) als within Faktor und Sex als between-Faktor, p = Huyn-Feldt. (nur Variabeln und Interaktionen aufgelistet, wo mindestens eine Signifikanz gefunden wurde)

Es zeigt sich, dass der Geruch einen Einfluss ausübt auf die subjektive Einschätzung, wie angenehm/unangenehm die Situation empfunden wurde. Anders bei der Erregung: Hier wird der Einfluss der Kognition sowie der Interaktion Geruch/Kognition deutlich. Die Kognition und die Interaktion Kognition/Geschlecht ist bei der Variable Dominanz signifikant. Wenn einzig die stärkeren Gerüche analysiert werden, erreicht nur die Interaktion Geruch/Kognition/Geschlecht Signifikanz. Unter mentaler Arbeit wird eine Situation als dominierender, kontrollierender eingeschätzt als unter Ruhe; dies kam bei den Frauen viel deutlicher zum Ausdruck (Tabelle 33).

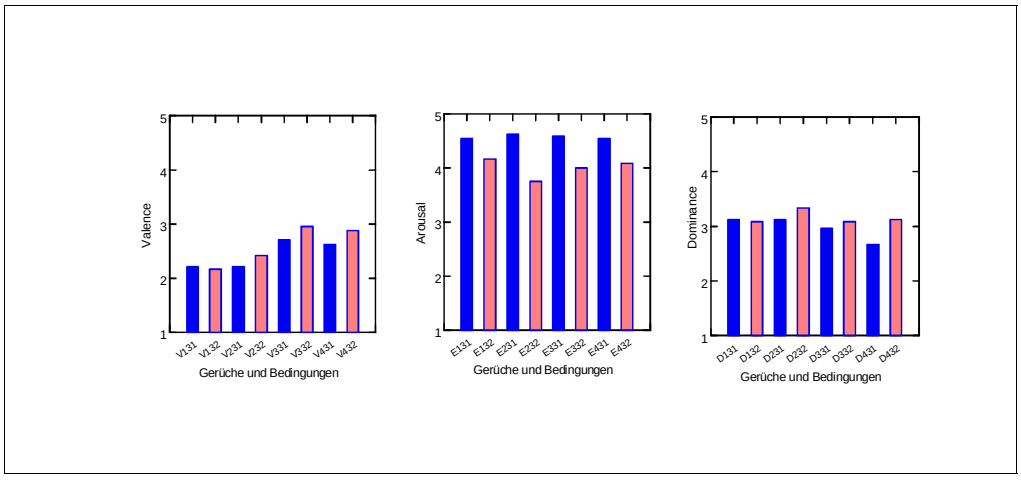


Abbildung 35: Mittelwerte von Valenz, Arousal und Dominanz aufgetrennt nach Gerüchen und Bedingungen. hell schraffiert = mentale Aufgabe, dunkel schraffiert = Ruhe. Immer Balken 1,2 = Pentylacetat, 3,4 = Menthon, 5,6 = H2S, 7,8 = NH3

Die Valenz (1 = sehr angenehm, 5 = sehr unangenehm) ist tiefer, das heisst die Bedingung wurde bei den Gerüchen Pentylacetat und Menthon als angenehmer, bei den Gerüchen H2S (unter Ruhebedingung vergl. mit Pentylacetat $t=-2.45$, $p<0.05$, unter mentaler Arbeit mit Pentylacetat $t = -2.455$, $p<0.05$, mit Menthol $t=2.27$, $p<0.05$) und NH3 (nicht signifikant) als unangenehmer empfunden. Die Erregung (Arousal 1 = sehr erregend, 5 = langweilig) ist insgesamt wenig ausgeprägt und eher bei wenig erregend angesiedelt, die Bedingungen mit mentaler Arbeit jedoch werden klar als erregender empfunden. Speziell unter Pentylacetat ($t=2.545$, $p<0.05$) und Menthol ($t=3.169$,$p<0.01$) wird die Auswirkung der mentalen Arbeit auf das Arousal signifikant. Der Dominanz-Parameter differenziert optisch weniger eindeutig.

7.4 Diskussion

Diese Studie ergab folgende Hauptresultate:

1. Die Geruchsexposition während mentaler Arbeit beeinträchtigte die Leistung der Probanden.

2. Die Geruchsexposition beeinflusste die Atmung in zweifacher Hinsicht: Unter NH3, das v.a. über den N. Trigeminus wahrgenommen wird, verkürzte sich über die zweiminütige Exposition die Einatmungszeit (Ti) im Mittel. Die unangenehmen Gerüche H2S und NH3 lösten zudem eine kurze Atemdepression aus (Ti $\downarrow$, Vi/Ti $\downarrow$), was bei den hedonistisch positiv bewerteten Gerüchen Pentylacetat und Menthol nicht der Fall war.

3. Die mentale Leistung im Farbsequenz-Kurzzeit-Gedächtnis-Test nahm unter Exposition zu H2S und NH3 ab, diese Gerüche lösten auch eine Orientierungsreaktion aus. Zusätzlich wurde unter NH3 die Reaktionszeit der Peripheren Reaktionsaufgabe verlängert. Die Primäraufgabe konnte aufrechterhalten werden.

Die erste Schlussfolgerung dieser Studie lautet also, dass übelriechende Gerüche während einer mentalen Aufgabe die Leistung der Probanden im Gedächtnistest beeinträchtigten, nichtsdestotrotz konnten die Versuchspersonen ihre primäre Aufgabe dabei aufrechterhalten. Zusätzlich wurde unter NH3 die Reaktionszeit bei der Reaktionsaufgabe verlängert. Jedoch hatten weder Pentylacetat noch Menthol einen Einfluss auf die mentale Leistung.

Die übelriechenden chemischen Reize lösten eine kurzzeitige Abnahme von Vi/Ti aus, bedingt v.a. durch eine Verlängerung von Ti. Vi/Ti ist gemäss Milic-Emili et al. (1981) als zentraler Einatmungsdrive des Atmungszentrum im Hirnstamm zu verstehen. Jede Zunahme oder Abnahme des zentralen Drives sollte sich in einer Zu- oder Abnahme in Vi/Ti äussern. Eine Abnahme von Vi/Ti bedeutet eine Atemdepression und wird hier zusammen mit der zeitlichen Abfolge – schnell einsetzend, schnell normalisierend - als Atmungskorrelat des Orientierungsreflexes verstanden. Orientierungsreaktionen werden meistens mittels der Abnahme der Herzrate beschrieben. Die Atmungskomponente der Orientierungsreaktion wurde von Porges und Raskin (1969) als eine Reduktion der RR und einer Verkleinerung der Atmungsamplitude beschrieben. Eine Verlängerung von Ti führt üblicherweise zur Reduktion der RR und die Atmungsamplitude wird hier durch Vi ausgedrückt, was insgesamt eine Abnahme von Vi/Ti ergibt, wie in dieser Studie gefunden. Die gefundene Verlängerung der Einatmungszeit ist intuitiv verständlich für Gerüche, eine Sinnesmodalität die stark von der Einatmung abhängt. Die Verlängerung der Einatmungszeit verlängert in einer direkten Form die Zeitdauer der Reiz Präsentation und erleichtert dadurch die Wahrnehmung. Der Luftfluss ist gewöhnlich in einem Nasenloch höher als im anderen. Sobel et al (2000) demonstrierte, dass wenn Versuchspersonen Gerüche mit dem schlechteren Nasenloch (tieferer Luftfluss) entdecken mussten, sie länger einatmeten. Teghtsoonian und Theghtsoonian (1982, 1984) meinen, dass der Mensch die Information über die Stärke und Länge der Einatmung mit der Geruchswahrnehmung kombiniert zur Abschätzung der Geruchsintensität. Durch den Einsatz bildgebender funktioneller Verfahren konnte Sobel et al (1998) zeigen, dass beide, die somatosensorische Stimu-

lation durch den Luftfluss, wie auch die Geruchs-Stimulation primäre olfaktorischen Regionen des ventralen Temporallappens aktivierten. Die gefundene Verlängerung von Ti passt daher gut in das Konzept von Sokolov's (1963) und Lacey's (1967), dass der Orientierungsreflex dazu dient die Wahrnehmungsschwelle herunterzusetzen, erkärt aber nicht warum nur die übelriechenden Gerüche eine Orientierungsantwort auslösten. Übereinstimmend mit unserer Hypothese war die Induktion der Orientierungsantwort abhängig von der emotionalen Valenz des Geruchsreizes. Ein Einfluss der Gerüche auf die Valenzeinschätzung konnte nachgewiesen werden, was bedeutet, dass eine Aktivierung des limbischen Systemes stattgefunden hat. Die Valenz-Beurteilung zeigt, dass die Gerüche hedonistisch verschieden wahrgenommen wurden und zwar in der erwarteten Richtung: Pentylacetat und Menthon als angenehmer, H2S und NH3 als unangenehmer. Engen (1982) bemerkte, dass v.a. die unangenehmen Gerüche bewusst wahrgenommen werden. Es ist bekannt, dass Gerüche starke Orientierungsauslöser sind (Winneke 1992) und die Stärke der indizierten physiologischen Antwort hängt, jedenfalls teilweise, von der Hedonik des Geruches ab: Angenehme Gerüche induzieren niedrigere Antworten als unangenehme (Kobal et al 1991, Brauchli et al 1995, Vernet-Maury et al 1995). Ehrlichman et al (1995, 1997) wie auch Miltner et al (1994) lösten akustisch Schreckreaktionen (Startle) aus während die Versuchspersonen angenehme oder unangenehme Gerüche erschnüffelte. Die Amplitude der Schreckantwort war grösser, wenn die Verscuhspersonen einen unangenehmen Geruch rochen als wenn sie keinen oder einen positiven Geruch rochen. Dieselbe Schreckreaktions-Verstärkung wurde verschiedentlich für unangenehme Bilder nachgewiesen (Lang et al 1990, Bradley et al 1993, Hamm und Vaitl 1993).

In unserer Untersuchung wussten die Versuchspersonen, dass sie Gerüchen ausgesetzt werden würden und sie kannten die Gerüche - von der Bestimmung der Geruchsschwellen her -, wenn auch nicht mit Namen. Zudem handelte es sich dabei um Gerüche, die im täglichen Leben vorkommen. Gerüche können starke Reaktionen in Hirnstrukturen wie dem Hypothalamus und dem limbischen System (Aggelton und Mishkin 1986) hervorrufen und werden v.a. mit Gedächtnis und Gefühlen assoziiert. Es ist deshalb mit eini-

ger Sicherheit anzunehmen, dass unsere Versuchpersonen neuronale Repräsentationen der 4 Geruchsreize aufgebaut oder reaktiviert hatten. Es wird daher angenommen, dass die individuelle neuronale Reiz Repräsentation die Wichtigkeit (Signifikanz) des Geruches bestimmte und damit auch den Effekt auf die mentale Leistung. Wir schliessen, dass unangenehme Geruchsreize von moderater Intensität eine emotionale Bedeutung haben und fähig sind eine Orientierungsreaktion auszulösen. Unsere Daten unterstützten die Hypothese, dass ein gewisser Grad von Reiz Signifikanz notwendig ist für das Orientieren (Bernstein 1979).

Unser Versuchsdesign weist am meisten Ähnlichkeiten mit dem Versuchsdesign von Knasko et al (1993) auf, die ebenfalls kurze intermittierende ‚Geruchs-Bursts', die eine Minute dauerten, verabreichten, aber keinen Einfluss auf die Leistung nachweisen konnten. Einerseits dauerten die verschiedenen mentalen Aufgaben 15 Minuten und die Leistung wurde über diese 15 Minuten erfasst, es wurden pro Aufgabe aber nur 2 ‚Geruchs-Bursts' gegeben. Eventuelle kurzfristige Leistungsabnahmen könnten in diesem Design untergegangen sein. Andererseits waren die Geruchsreize unbekannt, dadurch konnte keine vorgängige Aktivierung von neuronalen Reiz Repräsentationen stattfinden und die Versuchspersonen reagierten gleich auf die positiven und negativen Gerüche. Zusätzlich wurde von Knasko et al (1993) ein between-subjekt-design verwendet und hier wurde ein within-subject-design angewandt.

Unter der NH3 Exposition verschlechterte sich die Leistung am meisten und zusätzlich wurde die Reaktionszeit in der peripheren Reaktionsaufgabe verlängert. Die Anzahl der richtigen Reaktionen in Prozent der vorgegebenen Stimuli wurde nicht beeinflusst. Daher könnte eine Zunahme der Reaktionszeit als unbedeutend abgetan werden. Eine Zunahme der Reaktionszeit beim Autofahren, wenn ein Kind von der Seite auf die Strasse rennt, kann fatal sein. Die durch H2S und NH3 ausgelöste Orientierungsantwort sind von gleichem Ausmass aber unter NH3 nahm im Mittel die Inhalationsdauer (Ti) in einer Intensitäts abhängigen Form ab. Die Abnahme von Ti unter NH3 über 2 Minuten – und dies obwohl unter NH3 eine deutliche kurzfristige Zunahme von Ti unmittelbar nach dem Beginn des Geruchsreizes festzustellen

war - deutet darauf hin, dass NH3 nicht nur eine Orientierungsantwort, sondern eine längerfristige generelle Aktivierung auslöste. Vi/Ti war nicht speziell erhöht unter NH3, was bedeutet, dass Vi ebenfalls abnahm (gerade nicht signifikant). Unter NH3 Exposition zeigten die Versuchspersonen ein Atemmuster, dass am besten mit schnellem oberflächlichem Atmen (rapid shallow breathing) beschrieben wird. Gemäss Boiten et al (1994) ist schnelles oberflächliches Atmen assoziiert mit angespannter Erwartung, oder mit Kontrolle über eine Neigung zu handeln. NH3 aktiviert viel stärker trigeminale Rezeptoren als H2S (Doty 1995). Aktivierung von trigeminalen Rezeptoren führt zu stechenden, brennenden, beissenden oder kühlenden Sensationen. Solche Sensationen implizieren Leid oder eine Drohung für die Gesundheit und könnte uns in einen Alarmzustand versetzten. Walker et al (2001) zeigte in einer Olfaktometer Studie mit Propionsäure, dass Ti erst mit Konzentrationen abnahm, die auch Nasenreizungen auslösten. Wenn unsere Versuchspersonen unter Nasenreizungen gelitten hätten, sollte dies in der Valenzeinschätzung zutage treten, die Valenzeinschätzung ist aber negativer für H2S. Das menschliche trigeminale System scheint aber weniger empfindlich zu sein als das olfaktorische System für tiefe Konzentrationen, wie sie hier verwendet wurden. Die Wahrnehmungsschwelle von Personen ohne olfaktorisches System (anosmotische Personen) für starke trigeminale Rezeptor aktivierende Substanzen liegt bedeutend höher als von normalen Personen (Doty 1975, Walker und Jennings 1991). Wie schon oben argumentiert wiesen unsere Versuchsperonen eine neuronale Representation der Geruchsreize auf. Die NH3 Representation könnte die potentielle Drohung der Irritation mitbeinhalten und induzierte daher das schnelle oberflächliche Atmen. Degel und Köster (1999) fanden, dass in einem Raum mit Lavendel (beruhigend) Duft weniger Fehler, in einem Raum mit Jasmin (stimulierend) Duft mehr Fehler bei kongitiven Aufgaben gemacht wurden. Die Autoren interpetieren ihren Befund mit der Yerkes-Dodson-Regel (1908). Die Yerkes-Dodson Regel besagt, dass wenn die Erregung (arousal) ein Optimum über- oder unterschreitet die Leistung abnimmt.

Mit dem hier gebrauchten Untersuchungsdesign war es nicht möglich zu unterscheiden ob die Verschlechterung in der Gedächtnissaufgabe auf die

Dauer der Orientierungsreaktion beschränkt und die zusätzliche Verlängerung der Reaktionszeit unter NH3 über die gesamte Expositionszeit vorhanden war. Aber die Untersuchung zeigt deutlich, dass mit neuen Reizen, welche für eine Zeitdauer bestehen bleiben, das Ablenkungs- wie auch das Erregungskonzept in Betracht zu ziehen sind.

Die verwendete Aufgabe, der Multitest stellt eine komplexe Aufgabe dar, bestehend aus drei Aufgabenkomponenten. Dies führt zur Frage warum die Leistungsabnahme vor allem die Gedächtnissaufgabe betraf. Posner (1980) experimentierte mit verschiedenen räumlichen Positionen von Objekten oder Hinweisen und fand, dass periphere Objekte nicht ignoriert werden konnten, wohingegen zentrale Hinweise, die zusätzlich eine weitere mentale Verarbeitung forderten, ignoriert werden konnten. Der quantitative Effizienz Score (richtige Antworten in % von vorgegebenen Antwortstimuli) der Gedächtnissaufgabe wurde betroffen, nicht aber die Reaktionszeit oder der qualitative Effizienz Score (Anzahl richtiger Antworten in % der gegebenen Antworten). Während der Exposition zu den übelriechenden Gerüchen wurden weniger Antworten gegeben, das bedeutet, die Farbsequenzen wurden einfach ignoriert. Die peripheren Signale wurden in Übereinstimmung mit Posner (1980) wahrgenommen, selbst unter NH3, die zentralen Hinweise aber nicht. Eine mögliche Erklärung ist, dass die komplexe Aufgabe unter den übelriechenden Gerüchen redefiniert wurde; indem das Tracking als primär und die Gedächtnissaufgabe als sekundär eingestuft wurde. Die Aufrechterhaltung der als primär eingestuften Aufgabe wurde unter Lärm, Schockdrohung, und anderer Umwelt Bedingungen gefunden (Baddeley 1972, Broadbent 1971, Hockey 1970, 1979). Das Tracking wurde nicht als Haupt oder Primäraufgabe eingeführt, alle Komponenten der Aufgabe wurden vom Experimentator als gleichwertig behandelt und die Aufgabe wurde als Ganzes eingeübt. Das kontinuierliche Adjustieren des Cursors zum sich bewegenden Objekt auf dem Bildschirm verlangt kontinuierliche Aufmerksamkeit und Kontrolle des Effektors (Hand). Dies macht eine Einschätzung des Trackings als primär plausibel.

Eine andere Erklärungsmöglichkeit ist, dass die Gedächtnissaufgabe und die Gerüche auf dieselbe kongitive Ressource zurückgreifen (Interferenz). Lorig

(1998) argumentiert, dass Gerüche ‚zeitliche Gemische' darstellen: Um olfaktorische Signale zu interpretieren, muss das zentrale Nervensystem neurale Codes über eine gewisse Zeitdauer akkumulieren. Daselbe gilt für die Farbsequenz Aufgabe; man muss die letzten zwei Farben ‚im Kopf' behalten um zu entscheiden ob mit der neuen Farbe die Sequenzbedingungen erfüllt sind. Dies könnte zu der gefundenen Interferenz führen.

Ein Zurücknehmen der Aufmerksamkeit bei Mehrfachaufgaben betrifft häufig das Arbeitsgedächtnis oder induziert eine Verlagerung auf einen weniger Ressourcen gebrauchenden Kontrollmodus (Hockey 1997). Aufgaben, die das Arbeitsgedächtnis brauchen, werden generell als Störungs-empfindlich angeschaut, werden sie aber als Primäraufgabe wahrgenommen werden sie aufrechterhalten in der Form, dass neue Arbeitsweisen eingeführt werden.

Diese Untersuchung zeigt, dass unangenehme Gerüche Störfaktoren darstellen, die fähig sind, eine Orientierungsreaktion auszulösen und Aufmerksamkeit abzulenken. Ein so einfacher Störfaktor wie ein schlechter Geruch kann eine Person von seiner Aufgabe ablenken, wenn auch wahrscheinlich nur kurz, und verschlechtert seine Leistung. Dieser Befund schliesst wichtige Implikationen mit ein, die zu berücksichtigen sind, insbesondere in Hinsicht auf olfaktorische Konditionen am Arbeitsplatz, aber auch ganz allgemein in Situationen, in denen Menschen irgendwelche Aufgaben zu lösen oder Funktionen zu erfüllen haben. Man könnte daraus folgern, dass Arbeit, die kontinuierlich hohe Aufmerksamkeit erfordert, an Arbeitsplätzen ausgeführt werden sollte, die dergestalt designed, gebaut und unterhalten werden, dass übelriechende und v.a. irritierende Gerüche nicht anzutreffen sind. Aber es ist bedeutend wesentlicher, dass Aufgaben so gestaltet werden, dass kurze Aufmerksamkeits Ablenkungen möglich sind und keine fatalen Konsequenzen nach sich ziehen. Die Arbeit ist so zu organisieren, dass einer wichtigen Aufgabe die Priorität eingeräumt wird, d.h. sie darf nie an sekundärer Stelle stehen.

Die Intensität der Wahrnehmung von Gerüchen erfolgt - gemessen nach direkten psychologischen Skalen - als Funktion der Geruchskonzentration $W = c(I-I_o)^n$, wobei W die wahrgenommene Intensität und I die physikalische In-

tensität (in der Regel die Konzentration) darstellt, Io die Geruchsschwelle und n den Exponenten der Funktion. Der aufschlussreichste Parameter hier lautet n, denn er legt fest, wie die wahrgenommene Intensität als Funktion der Konzentration wächst. Dieser Exponent ist für jeden Geruch etwas verschieden, für die meisten Gerüche beträgt er um 0.6. (Berglund et al 1971, Laffort und Dravnieks 1973, zit. nach Engen 1982). Die Tatsache, dass der Exponent kleiner als 1 ist, bedeutet, dass die Zunahme der wahrgenommenen Intensität nicht mit der Zunahme der Konzentration identisch ist, sondern die Verdoppelung einer Konzentration führt zu einer Intensitätszunahme von ca. 50% (Engen 1982). Die eingesetzten Geruchskonzentrationen sind also als niedrig zu bezeichnen; die Geruchsschwelle ist jene Konzentration, die gerade noch wahrgenommen wird und die stärkeren Gerüche haben ca. eine 1.5-fache Intensität, sind also immer noch als schwach zu bezeichnen. Auch wenn das n bei den vier verwendeten Gerüchen leicht unterschiedliche Werte darstellt, so beinhaltet die hier angewandte Methode der individuellen Geruchsschwellen-bestimmung und die Verdoppellung der dazu benötigten Konzentration, dass die Versuchspersonen möglichst gleichwertigen Geruchsintensitäten ausgesetzt wurden. Wobei anzumerken ist, dass bei der Verdoppelung der Geruchsschwelle, die wahrgenommene Intensität der Gerüche nicht mehr absolut gleichwertig ist, dies könnte nur mit aufwändigen Vor-Intensitäts-Bestimmungen ermöglicht werden.

8 Experiment IV: Einfluss von induzierten Emotionen

Eine Arbeitsaufgabe kann im Gesamten als Stimulus verstanden werden, der auch eine emotionale Komponente beinhaltet. So gibt es Aufgaben, die wir als angenehm oder z.B. als lästig bezeichnen. Nicht nur das, es gibt auch Arbeitsaufgaben, die immanent emotionale Sets beinhalten z.B. Bildauswahl, Bildgestaltung bei Informationsmedien.

Die Begriffe ‚Emotion' und ‚Gefühl' sind in der Literatur nicht einheitlich definiert. Wundt (1914, S. 101) grenzt zwischen Gefühlen und Empfindungen – als physiologische Wahrnehmung – und zwischen Gefühlen und Affekten – als gesetzmässige Verbindungen von Gefühlen – ab. Zimmer (1984) sieht Emotionen in ein grosses Wortumfeld eingebettet, wie Gefühl, Affekt, Leidenschaft, Instinkt, Stimmung, Laune, Motivation, in welchem keine verbindliche Abgrenzung zwischen den einzelnen Begriffen gegeben sei. Dorsch (1992) setzt Emotionen und Gefühle gleich, was hier im weiteren ebenfalls getan wird.

Emotionen werden immer mit physiologischen Veränderungen in Verbindung gebracht. In der Beziehung zwischen Emotionen und physiologischen Parametern können drei Hauptmodelle unterschieden werden. Das Spezifitätsmodell besagt, dass verschiedene (spezifische) Emotionen charakterisiert sind durch spezifische physiologische Antwort-Muster (James 1884, Levenson et al 1990). Das Dimensionsmodell nimmt an, dass physiologische Antwort-Muster mit generellen Emotionsdimensionen korrespondieren. Diese Dimensionen sind; angenehm – unangenehm, ruhig – aufgeregt, aktiv – passiv (Wundt 1914). Diese Dimensionstypen werden durch verschiedenen Untersuchungen gestützt (Russel 1980), Watson und Tellegen 1985). Im dritten, dem ‚response – requirement' Modell wird postuliert, dass das physiologische Muster mit speziellen Antwort-Erfordernissen der gegebenen emotionalen Situation übereinstimmt. Diese Antwort-Erfordernisse unterliegen der funktionellen Kategorie von ‚Flucht oder Kampf' (Cannon 1929). Die entsprechenden Dimensionen dafür sind einerseits ‚intake – rejection' (Lacey und Lacey (1970), andererseits aktives – passives Coping (Obrist 1981).

Dem zweiten wie dem dritten Modell liegt die Annahme zugrunde, dass physiologische Antwortmuster in Beziehung zu emotionalen Dimensionen stehen, die über die Grenzen der einzelnen Emotionen wie Angst, Freude, Ärger, Ekel hinausgehen. Auch wenn Unterschiede zwischen dem Dimensionsmodell und dem Antwort-Erfordernis Modell bestehen, sind sie nicht inkompatibel (siehe z.B. Lang et al 1997).

Zimbardo (1992) wie auch Spada (1992) beschreiben Emotionen als ein komplexes Muster von Reaktionen auf eine Situation, die für eine Individuum bedeutungsvoll ist. Spada (1992) spricht von einer Reaktionstrias, die das subjektive Erleben, das Ausdrucksverhalten und die physiologischen Veränderungen beinhaltet. Emotionen sind in dieser Umschreibung Teil eines Reaktionsmusters. Zimmer (1984) beschreibt Emotionen als erlebte, auf eine höhere, beweglichere Stufe gerückte Instinkte. So definierte Lang (1984) Emotionen als Handlungs-Set um später (Lang et al 1997) zu präzisieren, Emotionen seien ‚Handlungs-Dispositionen'. In der vorliegenden Arbeit werden Emotionen gemäss Lang et al (1997) als Handlungs-Dispositionen verstanden, die eine Reaktionstrias, wie von Spada (1992) beschrieben auslösen, wobei das Ausdrucksverhalten nicht miteinbezogen wurde.

Zur Erfassung des subjektiven Erlebens wurde das dreidimensionale Modell (Osgood et al 1971, Mehrabian und Russel 1974) herangezogen, wobei das von Lang (1980) entwickelte grafische Beurteilungsverfahren SAM ausgewählt wurde.

Immer wieder wurden substantielle individuelle Unterschiede in bezug auf die, sei es durch CO_2, Höhe oder körperliche Tätigkeiten, ausgelöste ventilatorische Antwort berichtet (z.B. Forster et al 1982, Tobin et al 1988). Die individuelle Variabilität in der Atemantwort auf eine gegebene extrem Umgebung suggeriert, dass gewisse ‚Typen' von Individuen existieren (Morgan 1983). So fand Saunders et al (1972) , dass je grösser die ventilatorische Antwort auf CO2 war, desto höher war der Extraversions-Score (mit dem Eysenck Personality Inventory (EPI) bestimmt) bei den Frauen. Wientjes et al (1986) fanden sogar unter Ruhebedingungen Korrelationen zwischen Persönlichkeits-Faktoren und Atmung; Extraversion korrelierte in Ruhe negativ mit der Minutenventilation und positiv mit dem CO2 Level. Eysenck (1970) definiert den zugrundeliegenden Unterschied zwischen Intro – und

Extraversion als biologischen, basierend auf dem retikulären Aktivierungssystem des Gehirnes. Extravertierte und Introvertierte differieren demgemäss in der relativen Stärke der zwei gegenüberliegenden Prozesse – Excitation –Inhibition solcherweise, dass Introvertierte typischerweise einen höheren kortikalen Aktivierungszustand aufweisen. Dies führt dazu, dass Introvertierte nicht zusätzlich erregt werden wollen, sie versuchen eine Stimulation aus der Umwelt zu vermeiden, Extravertierte aber wollen stimuliert werden. Neubeck (1992) postuliert, dass Informationsaufnahme im Zusammenhang mit der Inspiration steht. Es stellt sich daher die Frage, ob der Persönlichkeitsfaktor Extraversion –Introversion einen Einfluss auf das physiologische Reaktionsmuster, insbesondere auf die Einatmungsdauer, sowie auf die subjektive Einschätzung eines emotionalen Stimulus ausübt.

Das Anschauen von Bildern ist eine weitverbreitete menschliche Tätigkeit. Es wurde abgeschätzt, dass Kinder wie Erwachsene zwischen 10-50% ihres Wachseins mit dem Verarbeiten von Bildern verbringen (Reeves und Hawkins 1986). Während dem Betrachten von Bildern ist das Individuum passiv und motorische Interferenzen sind gering. Die Reaktionstrias beim Bilder Anschauen können also dem Wahrnehmen und der durch die Bilder hervorgerufenen motivationalen Strategie zugeschrieben werden. Das Center for the Study of Emotion and Attention (1995) hat Bilder gesammelt und sie in den Dimensionen Valenz, Erregung und Dominanz einschätzen lassen, um eine Set von kalibrierten emotionalen Stimuli bereitzustellen. Für die Induktion von Emotionen wird hier auf dieses Bilderset zurückgegriffen. Mit diesen Bild-Emotions-Stimuli konnte aufgezeigt werden, dass die Herzrate einen moderaten Zusammenhang mit der subjektiven Valenz, die Hautleitfähigkeit einen klaren positiven Zusammenhang mit der Erregung aufweist (Greenwald et al 1989, Lang et al 1993, Hamm und Vaitl 1993).

8.1 Aufgabestellung

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Erfassung der Auswirkungen von bildlichen Reizen auf die Atmung insbesondere die Untersuchung wie die subjektive dimensionale Einschätzung der Valenz, der Erregung (Arousal) und Dominanz mit dem Verhalten der Atemparameter zusammen-

hängt. Zusätzlich sollte analysiert werden ob das Geschlecht und die Persönlichkeitsvariabeln Extraversion und Neurotizismus die affektive Einschätzung sowie die physiologische Atemantwort beeinflussen.

1. Welche Beziehung existiert zwischen den affektiven Einschätzungen und den physiologischen Atemantworten? Welche der affektiven Dimensionen übt den stärksten Effekt auf die verschiedenen physiologischen Antwortsysteme aus?
2. Bestehen Geschlechtsunterschiede in der affektiven subjektiven Einschätzung und in der physiologischen Antwort?
3. Modulieren Persönlichkeitsvariabeln (Extraversion, Neurotizismus) die affektiven Einschätzungen und die physiologische Antwort?

8.2 Methodik

8.2.1 Versuchspersonen

17 Männer und 14 Frauen zwischen 20-30 Jahre alt, nahmen an dem Versuch teil. Die Aufnahmekriterien für den Versuch beinhalteten gute allgemeine Gesundheit, keinen Medikamenten- oder Drogenkonsum, die das emotionale Verhalten verändern könnten. Die Versuchspersonen wurden auch gebeten vor dem Versuch auf Kaffee zu verzichten. Alle Versuchpersonen wurden über das Ziel und Design der Studie in einem allgemeinen Sinn aufgeklärt und erklärten ihre Einverständnis schriftlich. Die Studie war vom lokalen ethischen Komittee der ETHZ genehmigt worden.

8.2.2 Eysenck Personality Inventory

Die Versuchspersonen füllten das Eysenck Personality Inventory aus für die Bestimmung des Extraversionsgrades und Neurotizismusgrades. Die Antworten bestimmen einen Rohwert für Extraversion und Neurotizismus, welcher in einen Wert transformiert wird, der zwischen 1 und 9 liegen kann. Mit einem Wert zwischen 1 und 3 auf der Extraversion-Skala wird die Person als introvertiert eingeordnet, mit einem Wert zwischen 4 und 6 als neutral und mit einem Wert zwischen 7 und 9 als extravertiert. Auf der Neurotizismus-Skala ist die Aufteilung gleich: Mit Werten im Bereich 1-3 wird die Person als

stabil bezeichnet, mit Werten im Bereich 4-6 als neutral und im Bereich 7-9 als unstabil.

8.2.3 Die gezeigten Bilder

Vierzig Farbdias wurden aus dem IAPS (International affective picture system) basierend auf den Valenz und Arousal Einschätzungen von über 1500 Personen (Lang 1999) vorgeführt. Die ausgewählten Bilder variierten im Inhalt sowie im affektiven Niveau von beruhigend bis erregend, von angenehm bis unangenehm. Die Bilder wurden in 8 Serien à 5 Bilder arrangiert, die gleiche (ganz ähnliche) Valenz und Erregungsdimensionen aufwiesen. Serie Nr 1 bestand aus Bildern mit hoher Valenz und hohem Arousal, Serie Nr.2: hohe Valenz, tiefes Arousal, Serie 3: hohe Valenz und neutrales Arousal, Serie 4: neutrale Valenz und tiefes Arousal, Serie 5: neutrale Valenz und hohes Arousal, Serie 6: tiefe Valenz und tiefes Arousal, Series 7: tiefe Valenz und hohes Arousal und Serie 8: tiefe Valenz und neutrales Arousal. Unsere Absicht bestand darin, 8 Bildserien zu erhalten, die den gesamten affektiven Raum repräsentieren. Wie aus Tabelle 35 ersichtlich konnte dies nur annähernd erreicht werden. Da der Quadrant mit unangenehmen beruhigenden Bildern und der Quadrant mit Bildern die neutral in Valenz und hoch in Arousal sind, im allgemeinen unterrepräsentiert sind, führte dazu, dass die Arousal Werte für die Bildserie 6 nicht so tief liegen und für Bildserie 5 nicht so hoch liegen, wie wir dies gewünscht hätten. Jedes Bild wurde für 6 sec gezeigt, so dass eine Bildserie 30 sec dauerte. Die Reihenfolge der Bilder in einer Serie wurde zufallsmässig bestimmt und über die ganze Studie hinweg konstant gehalten. Die Reihenfolge der Serien hingegen wurde dergestalt variiert, dass jede Serie gleich oft als erste, zweite, usw. gezeigt wurde.

Serie 1: High valence/ high arousal

Nr.	Set	Description	Valence			Arousal			Dominance		
			male	female	all	male	female	all	male	female	all
4220	2	Erotic female	8.02 (1.37)	n.of.i.	n.of.i.	7.17 (1.76)	n.of.i.	n.of.i.	6.20 (2.06)	n.of.i.	n.of.i.
4460	3	Erotic	n.of.i.	6.29 (1.56)	n.of.i.	n.of.i.	5.78 (1.78)	n.of.i.	n.of.i.	5.41 (1.94)	n.of.i.

		male		(1.56)			(1.78)			(1.94)	
4660	3	Erotic couple	7.63 (1.30)	7.22 (1.40)	7.40 (1.36)	6.92 (1.74)	6.31 (1.95)	6.58 (1.88)	6.69 (1.30)	5.39 (1.66)	5.96 (1.64)
8030	2	Skier	7.29 (1.66)	7.35 (1.86)	7.33 (1.76)	7.32 (2.16)	7.38 (1.91)	7.35 (2.02)	5.02 (2.71)	4.42 (2.62)	4.70 (2.66)
8200	3	Water skier	7.15 (1.54)	7.86 (1.12)	7.54 (1.37)	6.33 (2.05)	6.37 (1.94)	6.35 (1.98)	6.23 (1.55)	6.13 (1.67)	6.17 (1.61)
8080	2	Sailing	7.73 (1.25)	7.73 (1.43)	7.73 (1.34)	7.12 (1.95)	6.25 (2.34)	6.65 (2.20)	6.32 (1.97)	5.56 (2.16)	5.91 (2.10)
mean ±SD			7.56 ±0.35	7.29 ±0.62	7.45* ±0.19	6.97 ±0.39	6.42 ±0.18	6.69* ±0.38	6.09 ±0.63	5.38 ±0.62	5.72* ±0.58

*calculated using the male subjects` mean value for “erotic female” and the female subjects` mean value for “erotic male”; n.of.i.: not of interest

Series 2: High valence/ low arousal

Nr.	Set	Description	Valence			Arousal			Dominance		
			male	female	all	male	female	all	male	female	all
5760	1	Nature	7.69 (1.28)	7.68 (1.44)	8.05 (1.23)	2.77 (2.16)	3.40 (2.47)	3.22 (2.39)	7.64 (1.63)	6.06 (2.32)	7.49 (2.39)
5200	3	Flowers	6.96 (1.62)	7.69 (1.37)	7.36 (1.52)	3.46 (2.06)	2.98 (2.22)	3.20 (2.16)	6.19 (1.53)	6.22 (2.13)	6.21 (1.88)
1610	1	Rabbit	7.28 (1.47)	8.39 (0.91)	7.82 (1.34)	2.82 (2.01)	3.33 (2.36)	3.08 (2.19)	7.33 (1.91)	6.21 (2.34)	6.77 (2.19)
1670	1	Cow	6.51 (1.76)	7.11 (1.72)	6.81 (1.76)	2.95 (1.67)	3.16 (2.15)	3.05 (1.91)	6.61 (2.20)	6.45 (1.74)	6.53 (1.91)
1620	1	Sprgbok	6.80 (1.68)	7.95 (1.19)	7.37 (1.56)	3.60 (2.34)	3.49 (2.36)	3.54 (2.34)	6.97 (1.69)	6.67 (1.85)	6.82 (2.34)
mean ±SD			7.05 ±0.45	7.76 ±0.47	7.48 ±0.48	3.12 ±0.38	3.27 ±0.20	3.22 ±0.19	6.95 ±0.57	6.32 ±0.24	6.76 ±0.47

Series 3: High valence/ neutral arousal

Nr.	Set	Description	Valence			Arousal			Dominance		
			male	female	all	male	female	all	male	female	all
8540	5	Athletes	7.28 (1.59)	7.66 (1.44)	7.48 (1.51)	4.96 (2.34)	5.34 (2.41)	5.16 (2.37)	5.74 (1.91)	6.00 (1.92)	5.88 (1.91)
5830	2	Sunset	7.37 (1.80)	8.54 (0.82)	8.00 (1.48)	4.98 (2.40)	4.88 (2.86)	4.92 (2.65)	5.68 (1.93)	6.40 (1.84)	6.07 (1.91)
2340	3	Family	7.65 (1.36)	8.34 (1.10)	8.03 (1.26)	5.35 (2.03)	4.53 (2.29)	4.90 (2.20)	6.02 (1.77)	6.31 (1.93)	6.18 (1.86)
2150	2	Baby	7.46 (1.60)	8.31 (1.49)	7.92 (1.59)	4.66 (2.37)	5.29 (2.83)	5.00 (2.63)	6.00 (2.44)	6.42 (2.26)	6.23 (2.34)
2160	3	Father	6.87 (1.87)	8.16 (1.28)	7.58 (1.69)	5.31 (2.10)	5.03 (2.25)	5.16 (2.18)	6.36 (1.98)	5.92 (2.12)	6.12 (2.06)
mean ±SD			7.33 ±0.29	8.20 ±0.33	7.80 ±0.25	5.05 ±0.28	5.01 ±0.33	5.03 ±0.13	5.96 ±0.27	6.21 ±0.23	6.10 ±0.14

Series 4: Neutral valence/ low arousal

Nr.	Set	Description	Valence			Arousal			Dominance		
			male	female	all	male	female	all	male	female	all

5510	1	Mushroom	5.20 (1.52)	5.10 (1.35)	5.15 (1.43)	2.78 (2.29)	2.87 (2.09)	2.82 (2.18)	7.27 (2.15)	6.08 (1.69)	6.68 (2.18)
7050	2	Hairdryer	4.80*	5.10*.	4.80*	2.50*	2.90*.	2.70*	miss.	miss.	miss.
2200	1	Neutface	4.64 (1.18)	4.95 (1.56)	4.79 (1.38)	2.33 (1.78)	4.03 (2.22)	3.18 (2.17)	5.97 (1.98)	4.90 (2.10)	5.44 (2.17)
7000	2	Rolling pin	4.94**	5.06 (1.10)	5.00 (0.84)	2.69**	2.15 (1.70)	2.42 (1.79)	6.26**	6.02 (2.09)	6.14 (2.14)
7150	2	Umbrella	4.80*	4.80*.	4.60*	2.60*	2.60*	2.50*	miss.	miss.	miss.
mean ±SD			4.88 ±0.21	5.00 ±0.13	4.87 ±0.21	2.58 ±0.17	2.91 ±0.69	2.72 ±0.30	6.50 ±0.68	5.67 ±0.66	6.09 ±0.62

* estimated from the two-dimensional affective space (Lang 1999)

** estimated from the mean values of all subjects and female subjects

Series 5: Neutral valence/ high arousal

Nr.	Set	Description	Valence			Arousal			Dominance		
			male	female	all	male	female	all	male	female	all
6900	2	Aircraft	5.08**	4.44 (2.10)	4.76 (2.06)	5.97**	5.31 (2.17)	5.64 (2.22)	4.64**	3.90 (2.50)	4.27 (2.66)
4770	3	Female kiss	6.67 (1.92)	3.47 (2.19)	4.91 (2.61)	6.52 (1.92)	5.31 (2.32)	5.85 (2.22)	5.77 (1.92)	5.02 (1.98)	5.35 (1.98)
5920	3	Volcano	5.83 (1.71)	4.63 (1.92)	5.16 (1.92)	6.25 (2.25)	6.22 (1.96)	6.23 (2.08)	3.90 (2.35)	3.98 (2.29)	3.95 (2.31)
1310	3	Leopard	5.27 (1.54)	4.05 (1.49)	4.60 (1.62)	5.89 (1.61)	6.09 (1.96)	6.00 (1.80)	4.94 (1.81)	3.91 (1.99)	4.37 (1.97)
8160	3	Rock climber	5.54 (1.95)	4.69 (1.92)	5.07 (1.97)	6.90 (1.62)	7.03 (1.63)	6.97 (1.62)	4.52 (2.43)	3.67 (2.02)	4.05 (2.24)
mean ±SD			5.68 ±0.62	4.26 ±0.51	4.90 ±0.23	6.31 ±0.41	5.99 ±0.72	6.14 ±0.51	4.75 ±0.68	4.10 ±0.53	4.40 ±0.56

** estimated from the mean values of all subjects and female subjects

Series 6: Low valence/ low arousal

Nr.	Set	Description	Valence			Arousal			Dominance		
			male	female	all	male	female	all	male	female	all
9090	2	Exhaust	3.24 (1.46)	3.83 (1.49)	3.56 (1.50)	4.22 (2.07)	3.75 (2.16)	3.97 (2.12)	4.44 (2.21)	4.56 (1.62)	4.51 (1.91)
9190	2	Woman	4.22 (1.19)	3.63 (1.58)	3.90 (1.44)	3.71 (1.75)	4.08 (1.71)	3.91 (1.73)	5.07 (1.71)	4.73 (1.90)	4.89 (1.81)
9000	2	Cemetery	2.81 (1.65)	2.33 (1.45)	2.55 (1.55)	3.90 (2.12)	4.19 (2.37)	4.06 (2.25)	3.29 (2.19)	3.21 (2.10)	3.25 (2.13)
9331	10	Bag man	3.09 (1.27)	2.67 (1.27)	2.87 (1.28)	3.42 (1.67)	4.25 (2.20)	3.85 (2.00)	5.38 (2.09)	4.13 (2.04)	4.72 (2.15)
9110	2	Puddle	3.78 (1.41)	3.75 (1.44)	3.76 (1.41)	3.90 (2.18)	4.04 (2.29)	3.98 (2.23)	4.83 (1.91)	4.92 (1.49)	4.88 (1.68)
mean ±SD			3.43 ±0.57	3.24 ±0.69	3.33 ±0.65	3.83 ±0.29	4.06 ±0.19	3.95 ±0.08	4.60 ±0.81	4.31 ±0.68	4.45 ±0.69

Series 7: Low valence/ high arousal

Nr.	Set	Description	Valence			Arousal			Dominance		
			male	female	all	male	female	all	male	female	all
3030	1	Ugly wound	2.2*	1.6*	2.00*	6.6*	7.2*	6.90*	miss.	miss.	miss.
9050	2	Plane crash	3.05 (1.70)	1.90 (1.32)	2.43 (1.61)	6.05 (2.01)	6.63 (1.91)	6.36 (1.97)	3.83 (2.19)	2.79 (1.83)	3.27 (2.06)
6570	6	Suicide	2.28**	2.10 (1.61)	2.19 (1.72)	6.05**	6.43 (1.85)	6.24 (2.16)	4.02**	4.04 (2.33)	4.03 (2.52)
6230	2	Aimed gun	2.73 (1.48)	2.06 (1.59)	2.37 (1.57)	7.10 (2.07)	7.56 (1.96)	7.35 (2.01)	2.34 (2.13)	1.98 (2.09)	2.15 (2.09)
9250	3	War victim	2.85 (1.47)	2.34 (1.28)	2.57 (1.39)	6.50 (1.66)	6.67 (2.04)	6.60 (1.87)	4.19 (2.05)	3.36 (1.78)	3.73 (1.94)
mean ±SD			2.62 ±0.37	2.00 ±0.27	2.31 ±0.22	6.46 ±0.44	6.90 ±0.47	6.69 ±0.45	3.60 ±0.85	3.04 ±0.87	3.29 ±0.82

* estimated from the two-dimensional affective space (Lang 1999)

Series 8: Low valence/ neutral arousal

Nr.	Set	Description	Valence			Arousal			Dominance		
			male	female	all	male	female	all	male	female	all
3220	3	Hospital	2.59 (1.28)	2.41 (1.31)	2.49 (1.29)	5.08 (1.89)	5.88 (1.77)	5.52 (1.86)	3.82 (1.96)	3.30 (1.55)	3.53 (1.75)
9180	2	Seal	2.76 (1.36)	3.19 (1.78)	2.99 (1.61)	5.07 (2.26)	4.98 (1.95)	5.02 (2.09)	4.44 (2.40)	4.58 (1.81)	4.52 (2.09)
9140	2	Cow	2.56 (1.42)	1.88 (1.26)	2.19 (1.37)	4.90 (2.29)	5.79 (2.04)	5.38 (2.19)	4.07 (1.94)	3.67 (1.96)	3.85 (1.95)
3230	3	Dying man	2.44 (1.50)	1.67 (0.99)	2.02 (1.30)	5.00 (2.35)	5.75 (2.04)	5.41 (2.21)	2.92 (2.20)	2.94 (2.17)	2.93 (2.18)
3160	3	Eye disease	2.73 (1.12)	2.70*	2.50*	5.23 (1.88)	5.50*	5.40*	4.35 (1.96)	miss.	miss.
mean ±SD			2.62 ±0.13	2.37 ±0.62	2.44 ±0.37	5.06 ±0.12	5.58 ±0.36	5.35 ±0.19	3.92 ±0.61	3.62 ±0.70	3.71 ±0.66

* estimated from the two-dimensional affective space (Lang 1999)

Tabelle 34: Normative Einschätzung der ausgewählten Bilder für Frauen, Männer und beide Geschlechter zusammen gemäss (Lang 1999) sowie Mittelwert und Standard-abweichung (SD) für jede Bildserie.

8.2.4 Bestimmung der affektiven Antwort

Zur Bewertung der 3 affektiven Dimensionen wurde die pencil-and-papar Version des Self-Assessment Manikin (SAM) verwendet (Lang 1980), wie schon in der Untersuchung mit den Gerüchen beschrieben.

8.2.5 Messung der Atemparameter

Die Aufzeichnung und Analyse der Atemparameter ist im Detail im Kapitel: Aufbau einer Atemmessumgebung beschrieben.

Folgende Atemparameter wurden ausgewertet: Dauer eines Atemzuges (Ttot) und Atemrate (RR), Inspirationsvolumen (Vi) und Exspirationsvolumen (Ve), Inspirationszeit (Ti) und Exspirationszeit (Te), Duty cycle (Ti/Ttot), mittlerer Inspirationsfluss (Vi/Ti) und der Prozentsatz der Brustkorb Ausdehnung am Vi (%RC).

8.2.6 Messung der Herzrate und der Hautleitfähigkeit

Herzrate (HR) und Hautleitfähigkeit (SC) wurden gemessen mit dem Varioport Messsystem (Becker Meditec, Karsruhe, Germany). Das Varioport ist ein Achtkanal-Rekorder zur Erfassung physiologischer Daten. In den einzelnen Messkabeln befinden sich Vorverstärker. Im Gerät erfolgt eine Filterung der Daten (Anti-Alias-Filter zur Abtrennung hoher Frequenzanteile), sowie eine Endverstärkung um den Faktor 10. Die anschliessende Digitalisierung erfolgt mit 12 Bit Auflösung. Das Gerät wird über einen PC gesteuert (VP_Basic software, TEMEC Instruments B.V., 6460 HA Kerkrade, NL) und die Kanäle werden durch die Definitionsdatei „vario.def“ folgendermassen definiert.: EKG Einheit mV, Samplingrate 512 Hz, Speicherrate 256 Hz, Auflösung 1 µV; Puls Einheit Schläge/min, Samplingrate 512 Hz, Speicherrate 4 Hz, Auflösung 1 Schläge/min; SC Einheit µS, Samplingrate 256 Hz Speicherrate 16 Hz, Messbereich 0.1-100 µS, Auflösung 0.001 µS. Puls wird vom EKG-Signal abgeleitet. Zur Messung der Hautleitfähigkeit wurde eine spezielle hochauflösende Einheit verwendet (16 statt 12 Bit). Dazu wurden zwei mit Schmiercreme (MED-TEK/Synapse, Arcadia, CA 91007, USA) gefüllte Sensoren auf der Handinnenfläche geklebt. Dabei wurde bei Rechtshändern die linke, bei Linkshändern die rechte Hand gewählt. Das EKG wurde durch Applizierung von drei vorgelieferten Elektroden (60 mm, Leonherd Lang GmbH, Innsbruck, Austria) auf der linken Brustseite abgenommen. Im Anschluss an den Versuch wurden die Daten von der Speicherkarte auf den PC überschrieben und gespeichert.

Darüber hinaus wurden die Herzrate-Variabilität (HRV) und die Hautleitfähigkeit-Variabilität (SCV) bestimmt, indem der Variationskoeffizient (Standardabweichung dividiert durch Mittelwert) berechnet wurde.

8.2.7 Ablauf einer Untersuchung

Die Versuchsperson sass aufrecht in einem ca. 26 m2 grossen, Lärm und Licht gedämpften Raum. Zuerst füllten die Versuchspersonen das Eysenck Personality Inventory aus. Die Versuchpersonen wurden instruiert, dass insgesamt 8 Bildserien à 5 Bildern gezeigt werden und dass sie jedes Bild solange es präsentiert wird betrachten sollen. Der Gebrauch des grafischen Differentials (SAM) wurde erläutert sowie, dass das subjektive Gefühl während der gesamten Bildserie eingeschätzt werden solle. Zwei Bilder wurden vorhergehend gezeigt um einerseits das grafische Differential anzuwenden und andererseits den Versuchspersonen ein Gefühl zu geben, was sie erwartete. Die Dias wurden auf eine Wand, die 1.2m von den Augen der Versuchsperson entfernt war, projiziert. Das projizierte Bild war 60 cm breit und 60 cm hoch. Nach dem Anlegen der Respitrace Bänder und EKG, sowie Hautleitfähigkeits-Sensoren wurde den Versuchspersonen Zeit gegeben, sich zu akklimatisieren. Dann wurde eine 2 Minuten dauernde Basis-Messung durchgeführt, bevor die erste Bildserie gezeigt wurde. 5 Sekunden vor einer neuen Bildserie wurde die Versuchsperson informiert, dass jetzt wieder eine Bildserie kommen werde. Nach jeder Bildserie wurde das grafische Differential angekreuzt. Danach wurden die Versuchspersonen gebeten, sich für eine Minute zu entspannen.

8.2.8 Daten Analyse und Statistik

Behandlung der Atemparameter

Für jeden Atemparameter und für jede Versuchsperson wurde der Median der einzelnen Messwerten jeder Bildserie (30sec-Median „S“), sowie der ersten 15sec („Sa“) und der letzten 15sec („Sb“) separat berechnet. Von der 60sec dauernden Pause vor jeder Bildserie wurde der Median der letzten 30sec („P“) berechnet. Daraus wurden für jede Bildserie die prozentualen

Änderungen zur vorhergehenden Pause berechnet („%S“ = (S-P)/P*100; „%Sa“ = (Sa-P)/P*100 und „%Sb“ = (Sb-P)/P*100).

Behandlung der Parameter Herzrate und Hautleitfähigkeit:

Für jede Versuchsperson wurden der Mittelwert und die Standardabweichung jeder Bildserie (30sec-Median „S“), sowie der ersten 15sec („Sa“) und der letzten 15sec („Sb“) separat berechnet. Ebenfalls wurden Mittelwert und Standardabweichung der letzten 30sec jeder Pause („P“) berechnet. Wie mit den Atemparametern, wurde daraus für jede Bildserie die prozentualen Änderungen zur vorhergehenden Pause berechnet („%S“, „%Sa“, „%Sb“). Für die Variabilität von HR und SC wurde nur %S berechnet.

Zuerst wurde eine Zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen für jede abhängige Variable, mit den 8 Bildserien (Bedingungen) als Messwiederholungsfaktor und Geschlecht und Extraversion als gruppierender Faktor durchgeführt. Paarvergleiche der Bedingungen wurden mittels t-test geprüft. Schaffer`s (1986) sequentiell zurückweisende Bonferroni Annäherung wurde gebraucht, um Signifikanzen zwischen den Mittelwerten zu identifizieren.

Um Zusammenhänge zwischen affektiver Einschätzung und physiologischen Antworten zu prüfen wurde das folgende Procedere angewandt: Basierend auf der subjektiven Einschätzung wurden für jede Versuchsperson die Bildserien in drei Rangreihenfolgen (Valenz, Arousal, Dominanz), von 1 (am tiefsten) bis 8 (am höchsten) geordnet. Wenn zwei oder mehr Bildserien identisch eingeschätzt wurden in einer Dimension, wurde der Mittelwert der Bildserie herangezogen um die Serie einzugliedern. Dieses Prozedere ergab ein Set von 8 ranggeordneten Einschätzungen für jede Versuchsperson und jede affektive Dimension mit den dazugehörenden physiologischen Parametern. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholungen wurde für jeden physiologischen Parameter mit dem Rang als within Faktor und Sex und Extraversion als gruppierende Faktoren durchgeführt. Zur Überprüfung eines linearen oder quadratischen Zusammenhanges wurden polynominale Kontraste angewendet. Zusätzlich wurden die Mittelwerte des Rang Samples für Va-

lenz, Arousal und Dominanz mit dem Mittel des physiologischen Parameters korreliert. Dies wurde auch für jede einzelne Versuchsperson durchgeführt.

8.3 Ergebnisse

8.3.1 Versuchspersonen

Versuchsperson	Sex	Extraversion		Neurotizismus	
		Wert (1-9)	Gruppe	Wert (1-9)	Gruppe
1	w	2	introvertiert	5	neutral
2	m	5	neutral	3	stabil
3	m	5	neutral	2	stabil
4	m	7	extravertiert	4	neutral
5	m	2	introvertiert	6	neutral
6	m	5	neutral	7	instabil
7	m	3	introvertiert	9	instabil
8	w	7	extravertiert	4	neutral
9	w	4	neutral	6	neutral
10	w	8	extravertiert	7	instabil
11	w	3	introvertiert	4	neutral
12	m	7	extravertiert	5	neutral
13	m	3	introvertiert	5	neutral
14	w	8	extravertiert	4	neutral
15	m	2	introvertiert	4	neutral
16	w	5	neutral	3	stabil
17	w	4	neutral	8	instabil
18	m	5	neutral	5	neutral
19	m	1	introvertiert	4	neutral
20	m	5	neutral	6	neutral
21	m	7	extravertiert	5	neutral
22	m	6	neutral	5	neutral
23	m	4	neutral	8	instabil
24	m	6	neutral	3	stabil
25	w	3	introvertiert	4	neutral
26	w	5	neutral	5	neutral
27	w	5	neutral	4	neutral
28	w	7	extravertiert	4	neutral
29	w	5	neutral	6	neutral
30	w	4	neutral	5	neutral
31	m	6	neutral	2	stabil

Tabelle 35: Charakterisierung der Versuchspersonen

Für Extraversion wurde folgende Aufteilung der 31 Teilnehmenden erhalten: 8 Introvertierte (3 Frauen, 5 Männer), 16 Neutrale (8 Frauen, 8 Männer), 7 Extravertierte (3 Frauen, 4 Männer). Für Neurotizismus waren nur 5 Personen in den Extremgruppen „stabil“ und „instabil“. Aus diesem Grund wurde dieser Einflussfaktor bei der Auswertung der Daten nicht weiter berücksichtigt.

8.3.2 Subjektive affektive Einschätzung der Bildserien

8.3.2.1 Within-Effekte

Alle drei affektiven Dimensionen differenzieren signifikant zwischen den Bildserien. Mittelwerte, SD und F-Werte sind in Tabelle 37 aufgeführt. Nicht signifikante Unterschiede für die Dimension Valenz wurden zwischen den Serien 1 & 3 (p=0.064), 2 & 3 (p=0.829), 4 & 5 (p=0.798) und 7 & 8 (p=0.876); für die Dimension Arousal zwischen 2 & 4 (p=0.370), 5 & 8 (p=0.295), 5 & 7 (p=0.258), 1 & 7 (p=0.191), 6 & 8 (p=0.176) und 7 & 8 (p=0.068); für Dominanz zwischen 2 & 4 (p=0.927), 1 & 3 (p=0.800), 1 & 4 (p=0.743), 2 & 3 (p=0.737), 1 & 2 (p=0.710), 3 & 4 (p=0.504) and 5 & 6 (p=0.181).

Affective dimension	Slide Series								
	1	2	3	4	5	6	7	8	F-value
Valence	7.26 (1.34)	7.87 (1.23)	7.81 (1.35)	5.29 (1.07)	5.35 (1.38)	3.19 (1.30)	2.06 (1.09)	2.03 (1.05)	F(7,189): 114.8*
Arousal	6.94 (1.55)	2.45 (1.71)	4.00 (2.07)	2.77 (1.67)	6.13 (1.43)	5.23 (1.94)	6.45 (2.03)	5.77 (1.82)	F(7,189): 26.6*
Dominance	5.97 (1.83)	6.13 (1.89)	5.87 (2.05)	6.10 (1.54)	4.33 (2.04)	3.81 (1.60)	2.23 (1.15)	3.13 (1.61)	F(7,182): 27.5*

Tabelle 36: Mittelwerte und (SD) für die affektiven Dimensionen der einzelnen Bildserien, * p<0.001

Die folgenden Gruppen können gemäss der post-hoc Testung unterschieden werden: Bildserien 1, 2 & 3 weisen die höchsten Mittelwerte in Valenz auf, wobei Bildserie 1 etwas tiefer liegt als 2 & 3; Serien 4 & 5 haben eine neutrale Valenz und die Serien 6, 7 & 8 die tiefsten Valenz Mittelwerte, wobei 7 & 8 signifikant tiefer liegen als 6. Bildserien 2 & 4 haben gleich tiefe Arousal Werte, Serie 3 ist neutral in Arousal und unterscheidet sich signifikant von allen anderen Serien; eine progressive Zunahme des Arousal fanden wir beginnend mit Serie 6, die noch fast neutral liegt zu 8, 5 und 7 bis Serie 1 mit dem höchsten Arousal Wert, Serien 5, 7 & 8 sind nicht signifikant unterschiedlich, wie auch 6 zu 8 und 1 zu 7. Für Dominanz zeigten Bildserien 1, 2, 3 & 4 die gleichen neutralen bis hohen Werte, diese sind signifikant verschieden von den anderen vier Serien, wobei 5 & 6 neutral bis tiefe Werte aufweisen und 7 & 8 am tiefsten liegen, mit Serie 7 signifikant tiefer als Serie 8.

8.3.2.2 Between-Subjects effects

8.3.2.2.1 Sex

Die Einschätzungen der Dimensionen Valenz und Dominanz der männlichen Versuchpersonen lagen signifikant höher als bei den weiblichen über die acht Bildserien (F=8.478 (1/27); p=0.007), respektiv (F=9.171 (1/27); p=0.005). Die Unterschiede waren v.a. in den Serien 5, 7 und 8 für Valenz und in den Serien 1, 3, 4, 7 und 8 für Dominanz deutlich. Die Einschätzung der Dimension Erregung lag bei den Frauen etwas höher als bei den Männern, erreichte jedoch keine Signifikanz (F=2.857 (1/27); p=0.102).

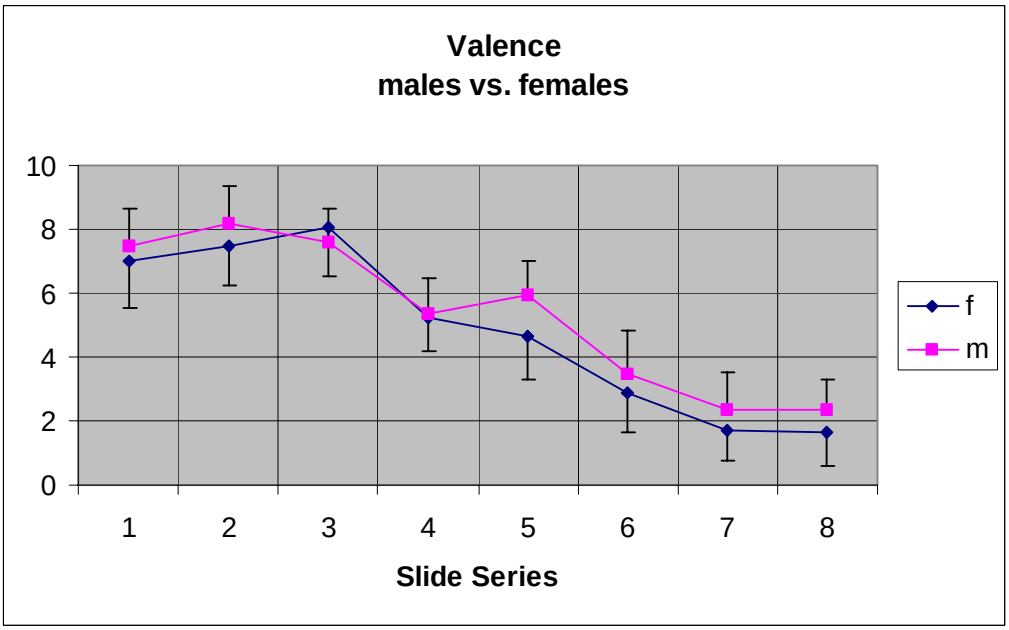


Abbildung 36: Mittelwerte der Valenz Einschätzung für Frauen und Männer (mean und SD).

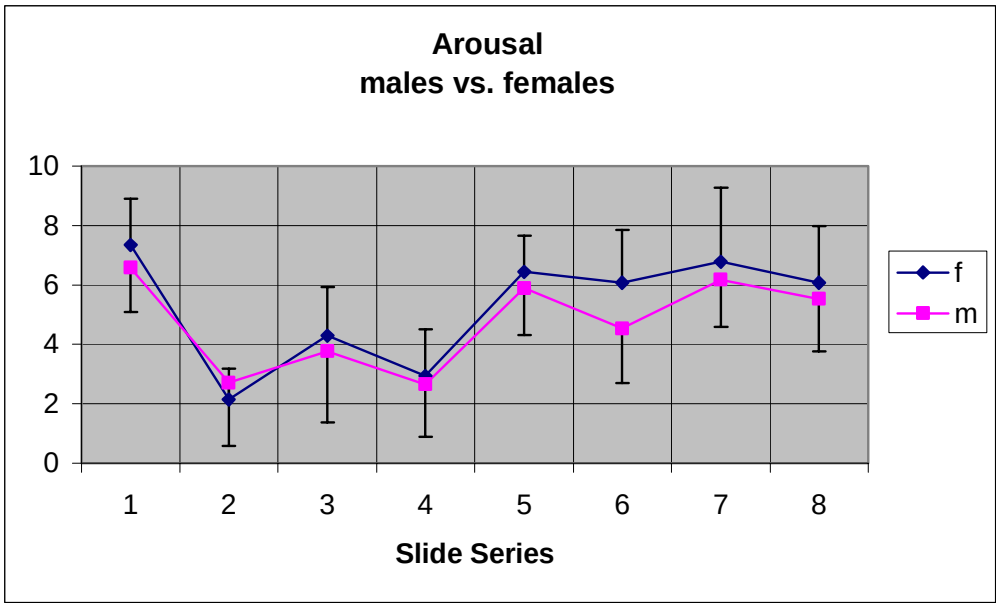


Abbildung 37: Mittelwerte und SD der Erregungseinschätzung für Frauen und Männer

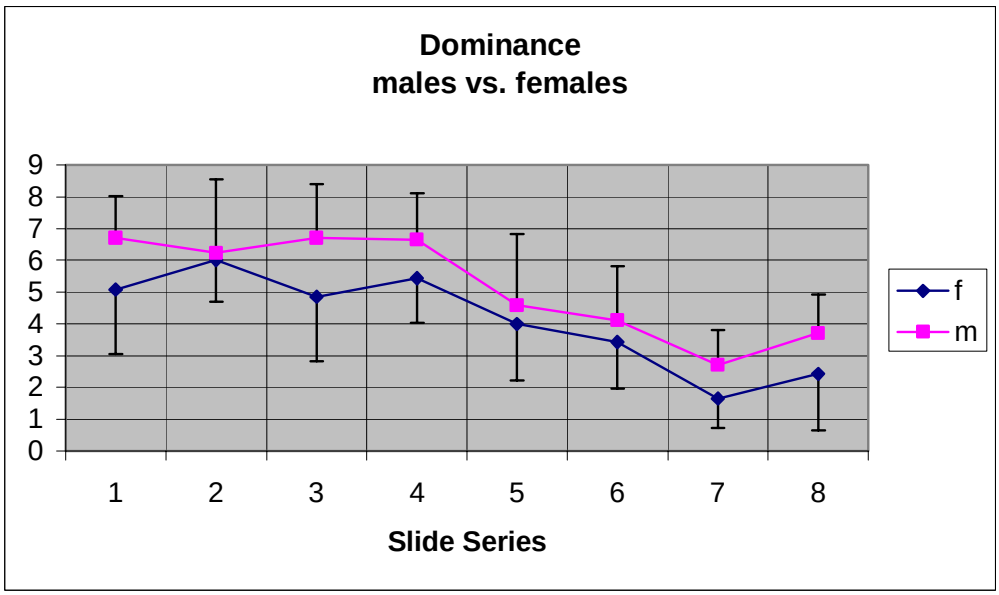


Abbildung 38: Mittelwerte und SD für die Dominanz-Einschätzung von Frauen und-Männern

8.3.2.2.2 Extraversion

Es wurde kein signifikanter Effekt in bezug auf die subjektive affektive Einschätzung über die Bildserien gefunden. Zwar gibt es Hinweise, dass die

Extravertierten die Valenz Dimension etwas anders einschätzten als die übrigen Teilnehmer. Abbildung 39 zeigt, dass die Extravertierten Bilder mit hoher Valenz (Serien 1,2,3) als weniger angenehm und Bilder mit sehr tiefer Valenz (Serien 6,7,8) als weniger unangenehm einschätzten als die Neutralen und Introvertierten Personen. Anders gesagt die Extravertierten weisen eine schmälere Einschätzungsskala (von einem Mittelwert von 3.0 für Serie 6-8 bis 7.2 für Serie 1-3) auf als die Introvertierten (1.7 bis 7.6) und Neutralen (2.2 bis 7.8). Zusätzlich schätzten die Introvertierten die neutralen Bilder (Serien 4 und 5) weniger angenehm als die Extravertierten (Mittelwerte: 4.8 vs. 5.6).

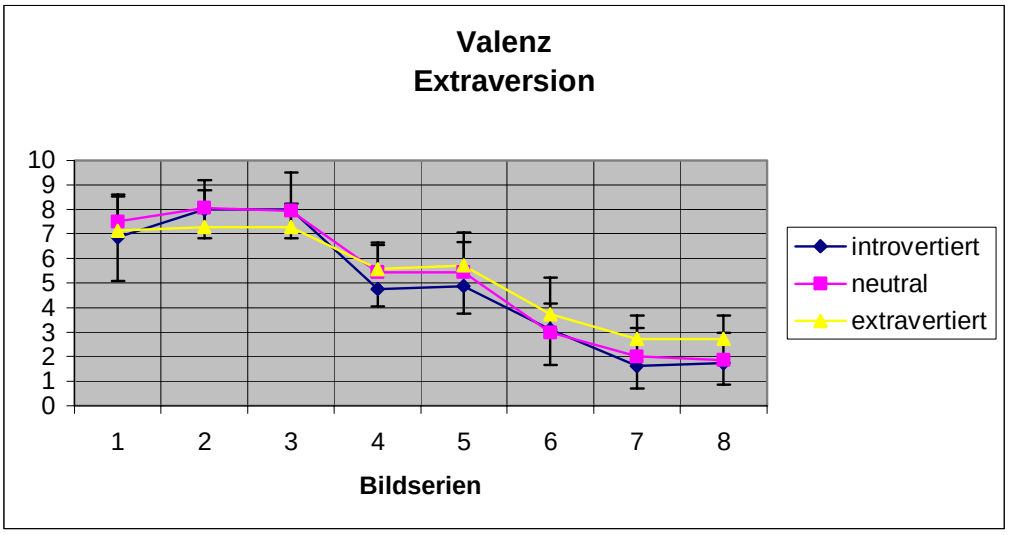


Abbildung 39: Valenz-Einschätzung in Abhängigkeit der Persönlichkeitsvariable Extraversion (mean und SD)

8.3.2.2.3 Korrelationen der affektiven Dimensionen

Wie Abbildung 40 zeigt wurde eine relativ starke Korrelation zwischen der Valenz und Dominanz Einschätzungen gefunden (Spearman R=0.613). Wird die Valenz tief eingestuft, so wird auch die Dominanz tief eingestuft, dasselbe gilt für hohe Einstufungen. Zwischen Valenz und Arousal konnte keine relevante Korrelation gefunden werden (Spearman R = -0.248) wie auch zwischen Arousal und Dominanz (Spearman R = -0.386).

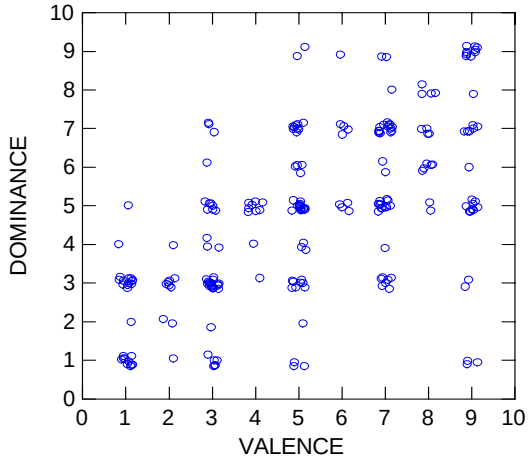


Abbildung 40: Valenz und Dominanz Einstufungen

8.3.2.3 Vergleich der Einschätzungen mit den normativen IAPS Einschätzungen

Die affektiven Einschätzungen der Männer, Frauen und aller Versuchspersonen wurden mit den Mittelwerten der IAPS (Lang 1999) verglichen. Signifikante Unterschiede sind in Tabelle 37 angegeben:

Series	Valence						Arousal						Dominance					
	male		female		all subjects		male		female		all subjects		male		female		all subjects	
	IAPS	Study	IAPS	Study	IAPS	Study	IAPS	Study	IAPS	Study	IAPS	Study	IAPS	Study	IAPS	Study	IAPS	Study
1	7.56	7.47	7.29	7.00	7.45	7.26	6.97	6.59	6.42	7.36*	6.69	6.94	6.09	6.71	5.38	5.07	5.72	5.97
2	7.05	8.18**	7.76	7.50	7.48	7.87	3.12	2.71	3.27	2.14***	3.22	2.45*	6.95	6.23	6.32	6.00	6.76	6.13
3	7.33	7.59	8.20	8.07	7.80	7.81	5.05	3.76*	5.01	4.29	5.03	4.00**	5.96	6.71	6.21	4.86*	6.10	5.87
4	4.88	5.35	5.00	5.21	4.87	5.29*	2.58	2.65	2.91	2.93	2.72	2.77	6.50	6.65	5.67	5.43	6.09	6.10
5	5.68	5.94	4.26	4.64	4.90	5.35	6.31	5.88	5.99	6.43	6.14	6.13	4.75	4.59	4.10	4.00	4.40	4.33
6	3.43	3.47	3.24	2.86	3.33	3.19	3.83	4.53	4.06	6.07***	3.95	5.23***	4.60	4.12	4.31	3.43*	4.45	3.81*
7	2.62	2.35	2.31	1.71	2.31	2.06	6.46	6.18	6.90	6.79	6.69	6.45	3.60	2.71**	3.04	1.64***	3.29	2.23***
8	2.62	2.35	2.37	1.64*	2.44	2.03*	5.06	5.53	5.58	6.07	5.35	5.77	3.92	3.71	3.62	2.43*	3.71	3.13

Tabelle 37: Vergleich der affektiven Einschätzungen mit denen der normativen IAPS Werten.* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

Diese Resultate müssen vorsichtig interpretiert werden, da die IAPS Werte den Mittelwert der Mittelwerte der 5 gebrauchten Bilder darstellen während in unserer Untersuchung die Versuchspersonen die gesamte Bildserie einschätzten. Es ist höchst wahrscheinlich, dass die Einschätzung von fünf Bil-

dern zusammen ein anderes Resultat ergibt als der Mittelwert von fünf einzelnen Einschätzungen.

8.3.3 Atmung

8.3.3.1 Pausen

Die Werte der acht Pausen (P) wurden für jeden Atemparameter miteinander verglichen. Keine signifikanten Unterschiede wurden gefunden.

Unterschiede zwischen Frauen und Männern wurden beim Inspirationsvolumen (Vi) und bei der Brustatmung (%RC) gefunden. Die Frauen wiesen ein kleineres Vi ($F=6.538$ (1/22); $p=0.018$) und grössere Werte für %RC ($F=7.333$ (1/22); $p=0.013$) auf. Unterschiede zwischen den Extraversion-Gruppen wurden für Vi und Inspirationsfluss Vi/Ti gefunden, wobei die Extravertierten ein etwas kleineres Vi und Vi/Ti während den Pausen aufwiesen als die anderen ($F=4.262$ (2/22), $p=0.027$, bzw. $F=3.444$ (2/22), $p=0.050$).

8.3.3.2 Während dem Bilderanschauen

8.3.3.2.1 Within-Subjects Effekte

Signifikante Haupteffekte über die Bildserien wurden für die Inspirationszeit (Ti (%Sb) $F=3.31$ (7/154), $p = 0.003$), Exspirationszeit (Te (%Sa) $F=3.398$ (7/154), $p=0.002$ & %Sb $F=2.238$ (7/154), $p=0.034$), Gesamtdauer eines Atemzuges (Ttot (%Sb, $F=2.237$ (7/154), $p=0.034$), Inspirationsvolumen (Vi (%Sb) $F=2.373$ (7/154), $p=0.025$), Expirationsvolumen (Ve (%Sb) $F=2.585$ (7/154), $p=0.015$) und für den Inspirationsfluss (Vi/Ti (%Sb) $F=3.694$ (7/154), $p=0.001$). Post-hoc Vergleiche zeigten signifikante Unterschiede der Mittelwerte für Ti und Vi/Ti in den letzten 15 Sekunden der Stimulus Präsentation auf. Beide Parameter sind in Bildserie 2 signifikant verschieden von den Serien 1, 7 und 8 (Abbildung 41). Der Anteil Brustatmung wurde eine generelle Abnahme während allen Bildserien festgestellt. Dies wurde durch eine Kontrastanalyse zwischen den Pausenmittelwerten und Bildserienmittelwerten bestätigt. Für Ti/Ttot konnte kein Effekt der Bildserien aufgezeigt werden.

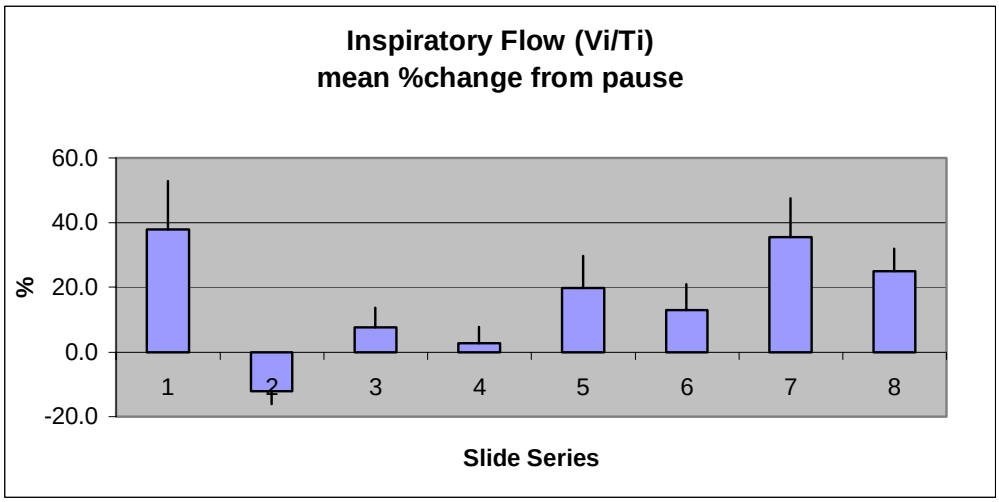


Abbildung 41: Delta Vi/Ti bei den einzelnen Bildserien (mean und SEM). Wobei Bildserie 1 hohe Valenz(HV) und hohes Arousal (HA), 2 HV/TA, 3 HV/NA, 4 NV/TA, 5 NV/HA, 6 TV/NA, 7 TV/HA und 8 TV/NA aufwies. (N=neutral)

8.3.3.2.2 Between-Subjects Effekte

Bei der Atmungsantwort auf die Bildserien konnten geschlechtsbezogene Unterschiede für Vi (%S: F=8.834 (1/22), p=0.007, %Sa: F=7.757 (1/22), p=0.011 und %Sb: F=0.005 (1/22), p=0.005) und Inspirationsfluss (%Sb: F=5.707 (1/22), p=0.026) festgestellt werden. Frauen zeigten bei den meisten Bildserien eher eine Zunahme in Vi sowie eine stärkere Zunahme des Inspirationsflusses Vi/Ti. Signifikante Auswirkungen wurden für den Gruppenfaktor Extraversion für Ti, Te und Ttot sowie Vi gefunden. Unterschiede wurden für %S, %Sa als auch %Sb. Die Zeitparameter Ti, Te und Ttot zeigten gleiche Antwortmuster zwischen den Gruppen, mit den folgenden statistischen Werten für %S: Ti, F=16.115 (2/22), p<0.001; Te, F=5.750 (2/22), p=0.010, und Ttot F=16.369 (2/22), p<0.001. Während Neutrale und Introvertierte generell die respiratorischen Zeitparameter verkürzten, wiesen die Extrovertierten eine Tendenz auf, die Zeiten zu verlängern. Dort wo alle Gruppen eine Zeitverkürzung zeigten, war diese Verkürzung kleiner bei den Extrovertierten. Auch für Vi wurden signifikante Effekte gefunden ((%S) F=10.609 (2/22), p=0.001) wobei die Extravertierten eine Vergrösserung des Volumens oder eine kleinere Abnahme zeigten als die generelle Abnahme

der übrigen Versuchspersonen. Da die Veränderungen in Ti und Vi für die verschiedenen Gruppen in die gleiche Richtung weisen, sollte Vi/Ti nicht verschieden sein, was auch der Fall war.

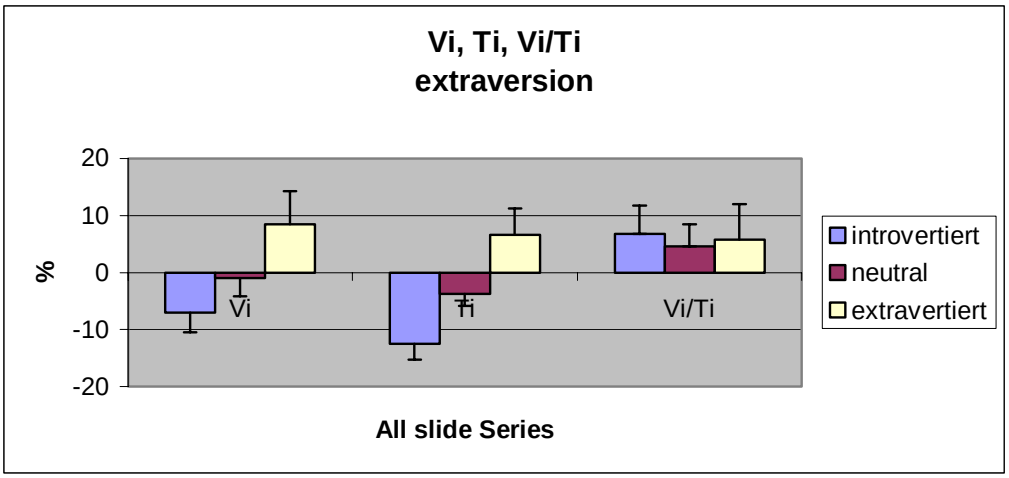


Abbildung 42: Vi, Ti und Inspirationsfluss Vi/Ti ausgedrückt als Median über alleBild-serien in Abhängigkeit der Persönlichkeitsvariable Extraversion

8.3.4 Affektiven Dimensionen und Atemparametern

8.3.4.1 Valenz

Signifikante lineare Trends über die Valenz wurden für Inspirationszeit Ti (%Sb: F=12.566 (1/22), p=0.002), duty cycle Ti/Ttot (%Sb: F=10.171 (1/22), p=0.004) und Inspirationsfluss Vi/Ti (%Sb: F=36.832 (1/22), p<0.001 Abbildung 8) ermittelt. Ti wurde länger mit zunehmender Valenz während Vi/Ti sich verkleinerte. Vergleiche der Summe der Quadrate für den linearen Trend mit der Summe der Quadrate für Valenz zeigt an, dass der lineare Trend 34% der Variabilität für Ti, 55% für Ti/Ttot und 58% für Vi/Ti erklärt. Vi zeigte einen quadratischen Trend mit der Valenz (%Sa, F=5.678 (1/22) p=0.026) und diese Beziehung erklärt 51% der Variabilität. Diese quadratische Beziehung war bei 13 Versuchspersonen besonders stark, wobei auch eine lineare Komponente vorhanden war (Linearer Trend: F=9.647 (1/12), p=0.009; quadratischer Trend: F=11.445 (1/12), p=0.005, Abbildung). Für eine kleinere Gruppe von 9 Personen wurde jedoch eine entgegengesetzte Tendenz beobachtet, nämlich relativ niedrige Volumen bei unangenehmen

Bildern mit einer Vergrösserung von Vi mit zunehmender Valenz, wobei diese Beziehung nicht so stark war (F=4.611 (1/8), p=0.064). Dies erklärt auch den relativ hohen p-Wert für die quadratische Beziehung mit allen Probanden.

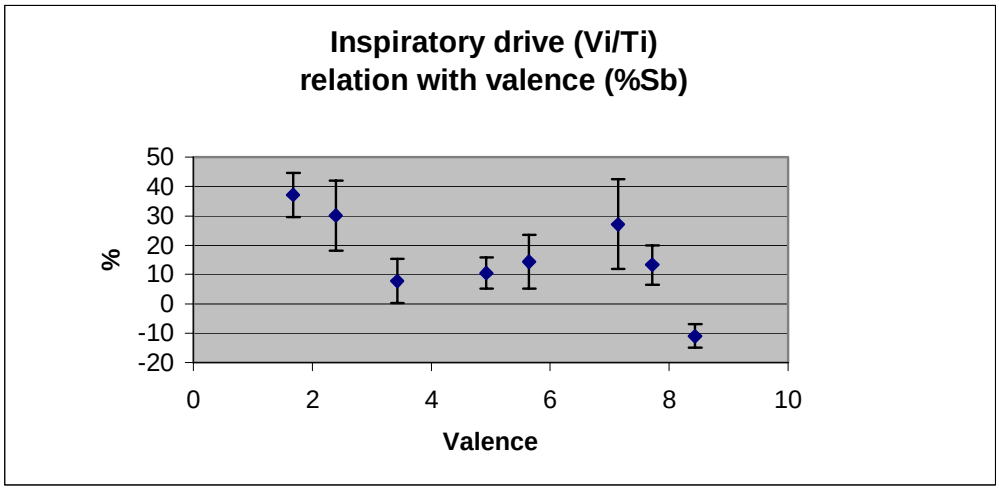


Abbildung 43: Kovariation der Valenz Einstufungen mit dem Inspirationsfluss (Vi/Ti%Sb). Die Abbildung zeigt Mittelwerte und SEM bei jedem subjektiven Rang. Linear R (Pearson)=-0.642.

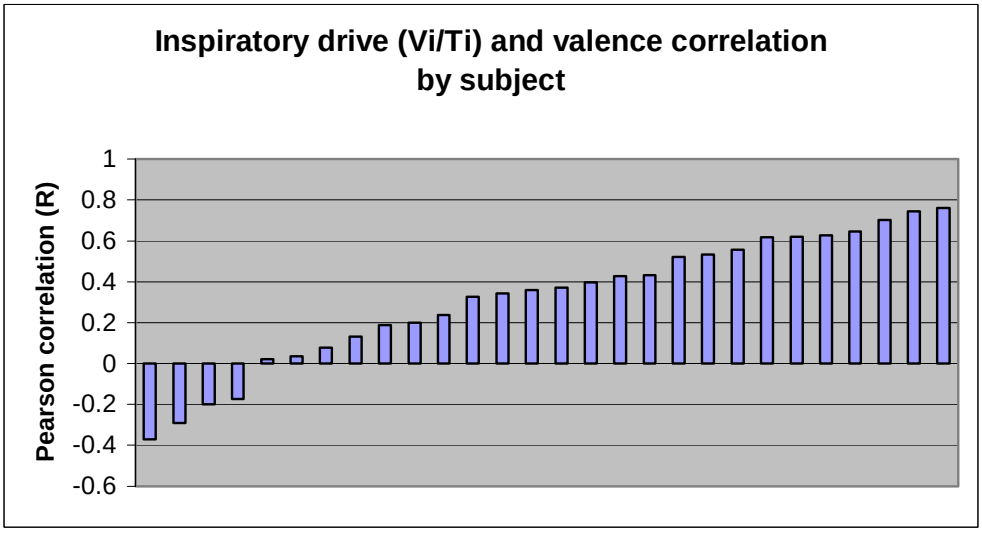


Abbildung 44: Verteilung der intrasubjektiven Korrelationen zwischen Valenz undInspirationsfluss (Vi/Ti %Sb). Korrelationen unter 0 weisen in die entgegengesetzte Richtung

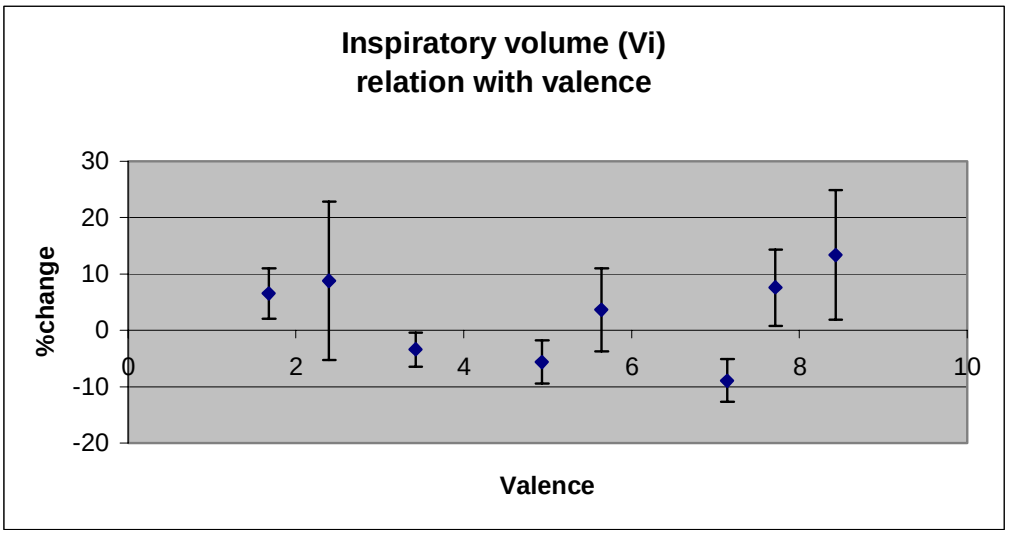


Abbildung 45: Kovariation der Valenz Einstufungen mit dem Inspirationsvolumen (Vi%Sa). Die Abbildung zeigt Mittelwerte und SEM bei jedem subjektiven Rang für alle Versuchspersonen.

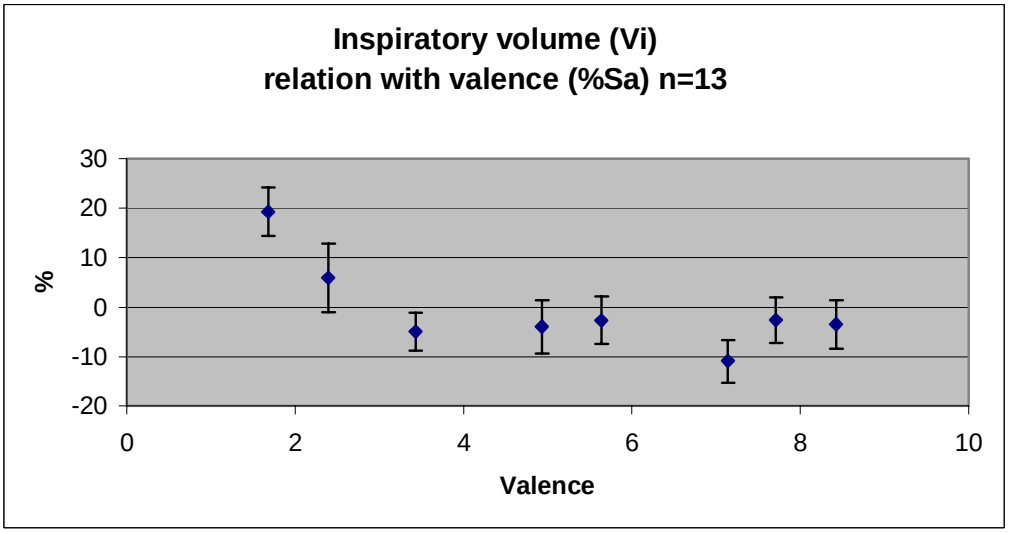


Abbildung 46: Kovariation der Valenz Einstufungen mit dem Inspirationsvolumen (Vi%Sa). Die Abbildung zeigt Mittelwerte und SEM bei jedem subjektiven Rang für 13 Versuchspersonen.

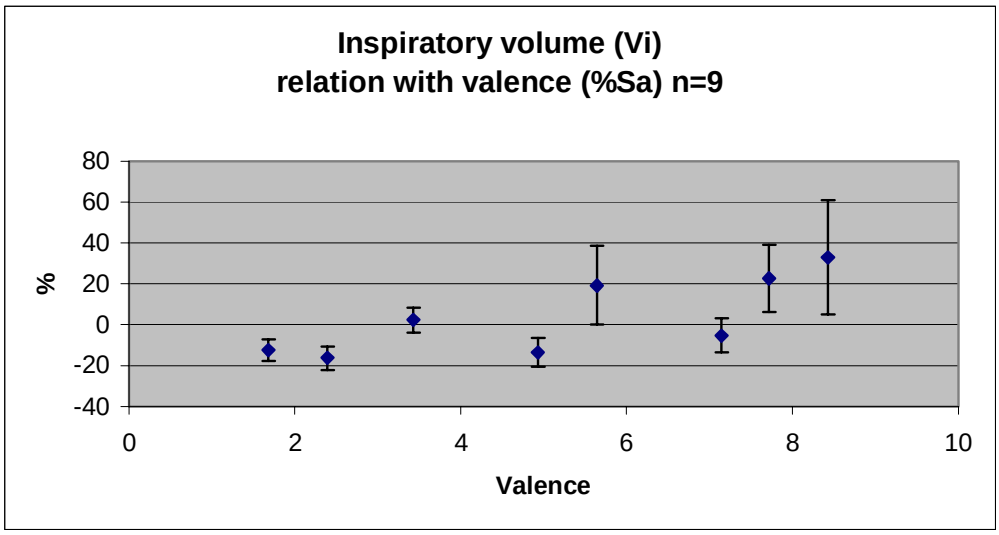


Abbildung 47: Kovariation der Valenz Einstufungen mit dem Inspirationsvolumen (Vi%Sa). Die Abbildung zeigt Mittelwerte und SEM bei jedem subjektiven Rang für 9 Versuchspersonen.

8.3.4.2 Arousal

Signifikante lineare Trend über das Arousal ergaben sich für Ti (%S: F=9.630 (1/22), p=0.005, Abbildung x), Ttot (%S: F=6.652 (1/22), p=0.017), Ti/Ttot (%Sb: F=7.330 (1/22), p=0.013) und Vi/Ti (%Sb: F=12.311 (1/22), p=0.002). Der Vergleich der Summenquadrate ergab, dass der lineare Trend 65% der Variabilität von Ti, 20% von Ttot und 48% von Vi/Ti erklärt. In Abbildung x sind die Stichproben-Mittelwerte für Arousal gegen die Stichproben-Mittelwerte der Ti-Antwort bei den acht Ränge aufgetragen.

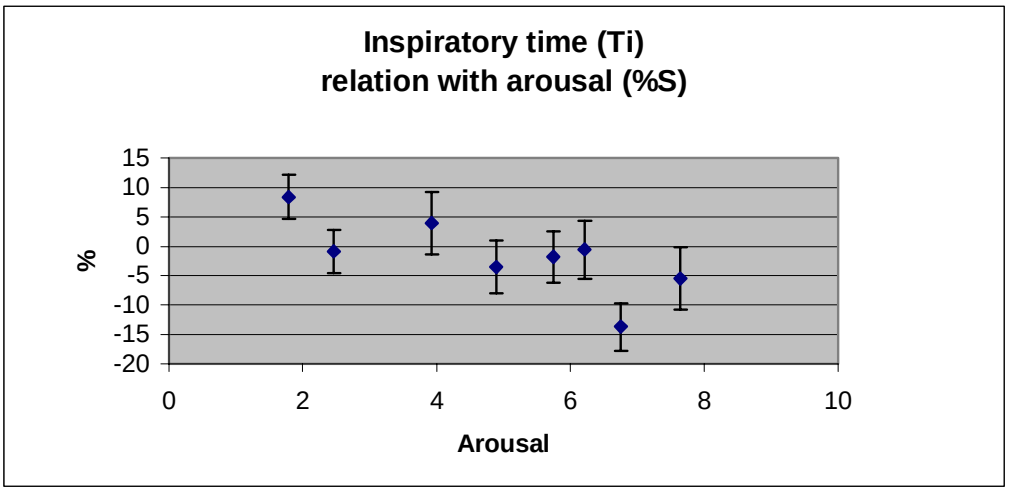


Abbildung 48: Beziehung zwischen der subjektiven affektiven Dimension Erregung (inRangreihenfolge) und Ti (Mittelwerte und SEM). Lineares R (Pearson) = 0.743

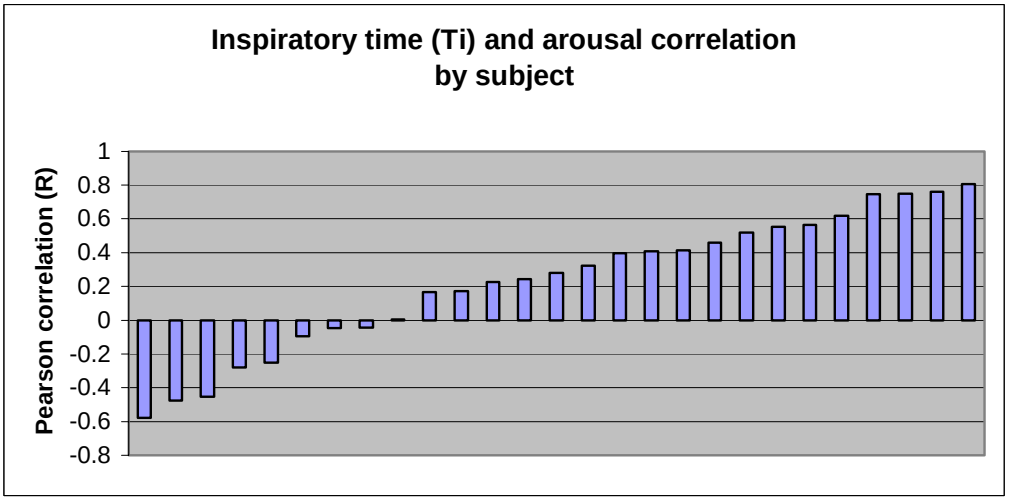


Abbildung 49:Verteilung der individuellen Korrelationen zwischen Arousal und Inspirationszeit über die ganze Bildserie (Ti %S).

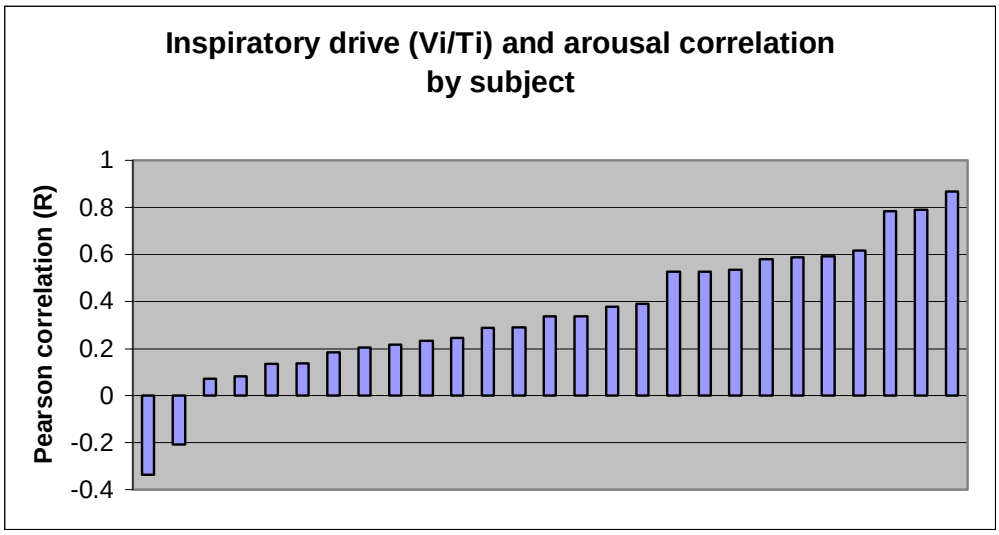


Abbildung 50: Individuelle Korrelationen zwischen Arousal Einstufungen und dem Inhalationsfluss (Vi/Ti %Sb)

8.3.4.3 Dominanz

Signifikante lineare Trends über die Dominanz-Dimension wurden für Vi/Ti (%S: F=5.756 (1/22), p = 0.025; %Sb: F=22.366 (1/22), p<0.001) sowie für Ti (%Sb: F=4.605 (1/22), p=0.043) gefunden. Die Inspirationszeit Ti nimmt zu während Vi/Ti abnimmt mit zunehmenden Dominanz-Einstufungen.

Signifikante quadratische Trends wurden für Inspirationszeit Ti (%Sa: F=9.305 (1/22), p=0.006), Exspirationszeit Te (%S: F=5.560 (1/22), p=0.028), total cycle time Ttot (%S: F=13.979 (1/22), p=0.001) und Inspirationsvolumen Vi (%Sa: F=5.754 (1/22), p=0.025) gefunden. Der Vergleich der Summenquadrate zeigte, dass der lineare Trend 90% der Variabilität über die Dominanz-Dimension für Vi/Ti erklärt. Der quadratische Trend erklärte 27% für Te, 62% für Ttot und 67% für Vi.

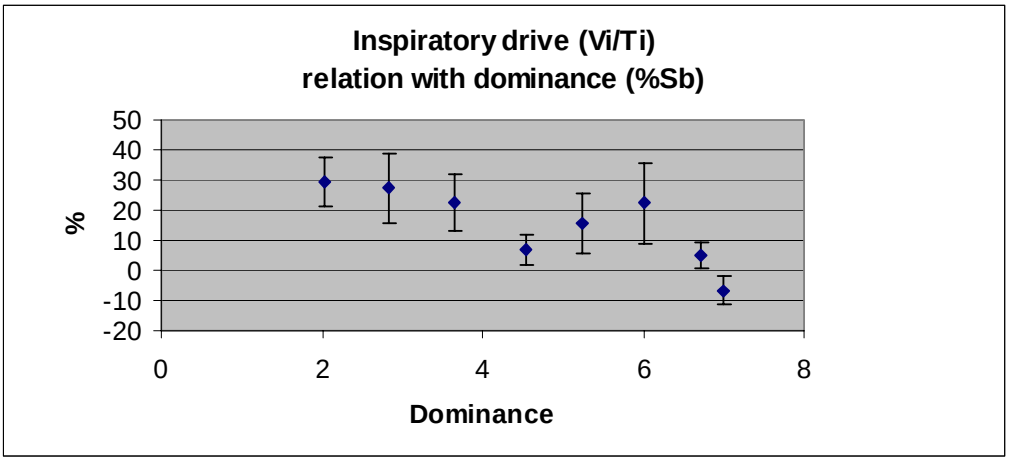


Abbildung 51: Kovariation der affektiven Dominanz-Einstufungen mit dem Inspirationsfluss (Vi/Ti %Sb). Mittelwerte und SEM.

Parameter	Valenz	% Var.	Arousal	% Var.	Dominanz	% Var.
Ti (%S)	----		%S, linear p = 0.005	65%	----	
Ti (%Sb)	%Sb, linear p = 0.002	34%	%Sb linear p = 0.003	52%	----	
Te (%S)	----		----		%S quadrat. P = 0.028	27%
Ttot (%S)	----		%S linear p = 0.017	20%	%S quadrat. P = 0.001	62%
Ti/Ttot (%Sb)	%Sb linear p = 0.004	55%	----		-----	
Vi (%Sa)	%Sa quadrat. P = 0.026	51%	----		%Sa quadrat. P = 0.025	67%
Vi/Ti (%S)	%S linear p = 0.025	26%			%S linear p = 0.025	75%
Vi/Ti (%Sb)	%Sb linear p < 0.000	58%	%Sb linear p = 0.002	48%	%Sb linear p < 0.000	90%

Tabelle 38: Lineare und Quadratische Trends zwischen Atemparametern undaffektiven Dimensionen (rangskaliert). %S = gesamte 30 s, %Sa = 1-15 s, %Sb = 16-30 s

Tabelle 38 zeigt eine Übersicht über die gefunden Beziehungen zwischen den verschiedenen Atemparametern und den affektiven Einstufungen, sowie den Anteil der erklärten Varianz.

8.3.5 Herzrate und Hautleitfähigkeit

8.3.5.1 Within-Subjects Effekte

Signifikante Effekte der Bildserien wurden für die Hautleitfähigkeit (SC) (%S: $F=5.81$ (7/147), $p<0.001$, %Sa: $F=4.076$ (7/147), $p<0.001$; %Sb: $F=6.706$ (7/147) $p<0.001$) sowie für die Variabilität der Hautleitfähigkeit (SCV) (%S: $F=3.472$ (7/147) $p=0.002$) gefunden. Im Gegensatz dazu konnten keine Auswirkungen der Bildsserien auf die Herzrate (HR) sowie für deren Variabilität gefunden werden. Paarweise Vergleiche zeigten signifikante Unterschiede der Mittelwerte der SC in allen drei Intervallen. Bildserie 1 ist verschieden von Serie 2, 4 und 6. Die SC Variabilität unterscheidet sich zwischen Bildserie 1 verglichen mit 2,4 und 8, sowie zwischen Bildserie 5 verglichen mit 4 und 8. Bei der Variabilität der Herzrate konnte eine generelle Abnahme während dem Bilder Anschauen verglichen mit den Pausen festgestellt werden ($F=4.802$ (6/22), $p=0.003$). Weder für die Hautleitfähigkeit noch für die Herzrate konnten Unterschiede über die Pausen gefunden werden.

8.3.5.2 Between-Subjekt Effekte

Geschlechtsunterschiede wurden während dem Betrachten der Bildserien in der HR Antwort festgestellt (%Sb $F=4.500$ (1/22), $p=0.045$). Frauen zeigten eine leichte Zunahme der HR, während Männer eher eine Abnahme der HR aufwiesen beim Betrachten der Bildserien. Die Unterschiede wurden v.a. bei den sehr wenig und den sehr erregenden Serien sichtbar. Die Persönlichkeitsvariable Extraversion zeigte keinen Effekt weder auf die HR noch auf die SC.

8.3.6 Affektiven Dimensionen und Herzrate und Hautleitfähigkeit

8.3.6.1 Valenz

Weder wurde ein linearer noch ein quadratischer Zusammenhang zwischen HR oder SC mit Valenz gefunden.

8.3.6.2 Arousal

Signifikante lineare Trends zwischen Arousal und SC konnten während allen Zeitintervallen festgestellt werden (%S F=9.219 (1/21), p=0.006; %Sa F=7.202 (1/21), p=0.014; %Sb F=9.843 (1/21), p=0.005) Die Hautleitfähigkeit nimmt monoton mit steigendem Arousal zu. Der lineare Trend erklärt 58%, 49% und 59% der Variabilität der drei Zeitintervalle. Auch die Variabilität SCV zeigte eine lineare Beziehung mit Arousal (F=7.44 (1/21) p=0.013). Gleich wie SC nimmt SCV mit zunehmendem Arousal zu und erklärt 58% der Arousal-Variabilität. Eine signifikante quadratische Beziehung zwischen der Herzraten-Variabilität HRV und Arousal (F=6.14 (1/22), p=0.021), die 46% der Variabilität erklärt, wurde gefunden. HRV war am höchsten für hohes Arousal, am niedrigsten für neutrales Arousal und ein bisschen höher wieder für tiefes Arousal. Eine weniger starke lineare Komponente war auch vorhanden (F=3.803 (1/22), p=0.064). Ausserdem wurde eine Interaktion mit dem Geschlecht gefunden (F=5.566 (1/22), p=0.028). Die Analyse der beiden Geschlechter zeigt, dass v.a. die weiblichen Versuchspersonen diese quadratische Beziehung zeigen (F=8.303 (1/11), p=0.015) während bei den männlichen Probanden als Gruppe genommen nicht vorhanden ist (F=0.020 (1/15), p=0.888), auch wenn einige Männer diese Beziehung ebenfalls zeigen. Die männlichen Probanden sind eher durch eine allgemeine Reduktion der HRV gekennzeichnet.

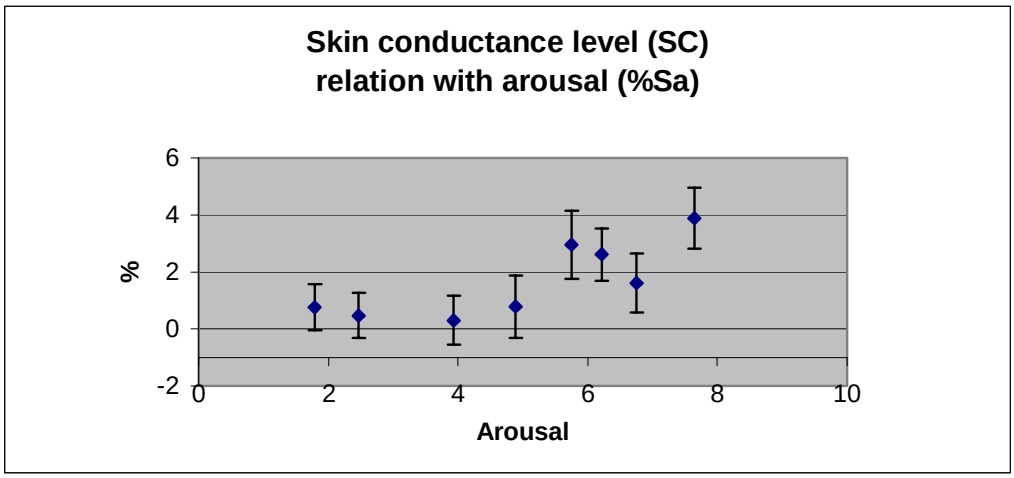


Abbildung 52: Kovariation zwischen Arousal und Hautleitfähigkeit SC (%Sa). (Mittelwerte und SEM). Linear R (Pearson)=0.799. Ähnliche Werte wurden für %Sb und %S erhalten.

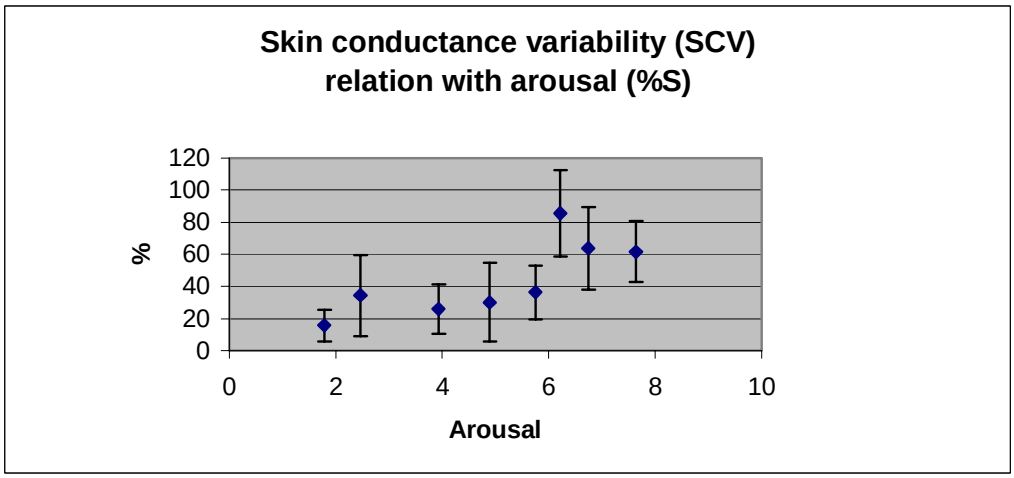


Abbildung 53: Kovariation zwischen Arousal und Variabilität der Hautleitfähigkeit SCV (%S). (Mittelwerte und SEM). Linear R (Pearson)=0.767.

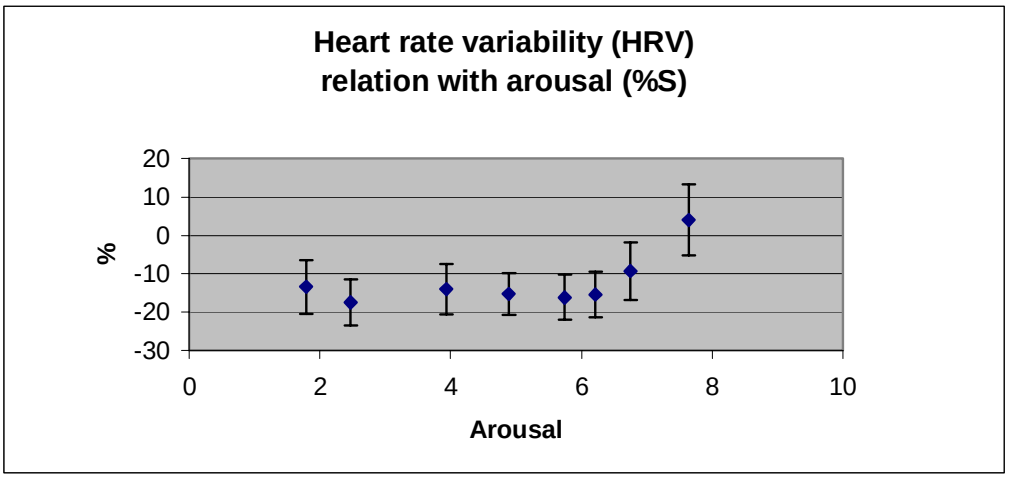


Abbildung 54: Kovariation zwischen Arousal und HRV (%S) Mittelwerte und SEM. Quadratisches R^2=0.805.

8.3.6.3 Dominanz

Es wurde keine Beziehung zwischen der affektiven Dominanz Einstufung und der Hautleitfähigkeit und der Herzrate gefunden.

8.4 Diskussion

Die Hauptfunde dieser Untersuchung beziehen sich auf die Persönlichkeitsvariable Extraversion, sowie auf die Beziehungen zwischen den affektiven Dimensionen und den physiologischen Parametern. Die extravertierten Versuchspersonen verglichen mit den neutralen und v.a. mit den introvertierten sind gekennzeichnet durch eine allgemeine Verschiebung der Atemantwort gegen langsamere und tiefere Atmung. Dieser Unterschied beeinflusst jedoch nicht die Abhängigkeit von den Gefühlsdimensionen: Zwischen den drei Extraversionsgruppen bestehen keine Unterschiede in den Beziehungen zwischen affektiven Einschätzungen und (Atem)-parametern. Folgende klare Beziehungen zwischen affektiven Dimensionen und Atemparametern wurden gefunden: Die Inspirationszeit Ti nimmt linear mit steigendem Arousal ab und mit steigender Valenz zu, d.h. Ti ist am kleinsten bei ganz unangenehmen und stark erregenden Bildern, und am grössten bei ganz ange-

nehmen und besonders beruhigenden Bildern. Der Inspirationsfluss Vi/Ti, hauptsächlich bedingt durch das Verhalten der Inspirationszeit Ti, nimmt mit steigendem Arousal linear zu und nimmt mit steigender Valenz und Dominanz ab; d.h. Vi/Ti ist am grössten bei ganz unangenehmen und stark erregenden Bildern, und am kleinsten bei ganz angenehmen und besonders beruhigenden Bildern. Das Inspirations-volumen Vi ist am grössten bei Bildern mit tiefer Valenz und Dominanz, nimmt dann bei neutralen Bildern ab um bei Bildern mit hoher Valenz und Dominanz wieder leicht erhöht zu sein. Diese quadratische Beziehung ist jedoch nur bei den ersten Atemzügen und nur bei etwa der Hälfte der Probanden zu beobachten.

Die subjektive Einschätzung der Bildserien durch unsere Versuchspersonen korrespondierte gut mit den erwarteten, basierend auf den publizierten (IAPS 1995), Einschätzungen. Der Bereich mit tiefer Valenz und tiefem Arousal konnte nicht wie gewünscht abgedeckt werden (Bildserie 6). Dies entspricht unserer subjektiven Erfahrung, dass höchst unangenehme Bilder meist auch sehr erregend sind und wurde von verschiedenen Autoren schon festgestellt (Lang et al 1997, Hamm und Vaitl 1993, Greenwald et al 1989). Frauen und Männer zeigten eine etwas andere Einschätzung der Bildstimuli. Die Männer stuften die Bilder als angenehmer und dominierender ein als die weiblichen Versuchspersonen. Die Frauen fühlten sich etwas erregter als die Männer, dies erreichte jedoch keine Signifikanz. Ein Vergleich mit den normativen IAPS Einschätzungen (IAPS 1995) zeigte, dass diese Differenzen auch in der viel grösseren Stichprobe vorhanden sind, wobei die Unterschiede in unserer Studie deutlicher hervortraten. Nicht nur die affektive Einschätzung ist verschieden, auch die physiologischen Parameter zeigen geschlechtsspezifische Unterschiede. So steigerten die Frauen während den meisten Bildserien das Vi , daraus resultierte, dass die Zunahme des Inhalationsflusses grösser war als bei den Männern während dem Bilder Anschauen. Dasselbe Verhalten beim Betrachten der Bilder wurde auch für die Herzrate festgestellt. Auch die Variabilität der Herzrate verhielt sich anders; während die Männer eine allgemeine Abnahme aufwiesen, zeigten die Frauen eine deutliche quadratische Abhängigkeit von der Erregungseinschätzung. Zusammengenommen weist dies darauf hin, dass jedenfalls im westlichen

Kulturkreis das Geschlecht einen Einfluss auf die affektive Einschätzung von Bildern und auf die Intensität der physiologischen Reaktionen ausübt.

Zusätzlich zum Geschlecht zeigte die Persönlichkeitsvariable Extraversion einen Einfluss auf die Atemparameter. Erstens wiesen die Extravertierten in den Pausen eine andere, nämlich flachere, Atmung (kleineres Vi) auf. Dass Persönlichkeitsvariablen einen Einfluss auf die Ruheatmung haben, wurde schon von Wientjes et al (1986) gezeigt. Er fand, dass Extraversion negativ mit der Minutenventilation und positiv mit dem CO_2 Level korreliert. Insbesondere aber bei den Atemantworten auf die gezeigten Bilder unterschieden sich die Extravertierten deutlich von den übrigen Versuchspersonen. Keine Abhängigkeit von Extraversion wurde hingegen für Herzrate und Hautleitfähigkeit und auch nicht für die affektiven Einschätzungen beobachtet.

Die Extravertierten verlängerten Ti unter tiefem Arousal, wogegen die Neutralen und Introvertierten Ti schon bei tiefem Arousal etwas verkürzten. Mit zunehmendem Arousal verkürzten die Extrovertierten Ti ebenfalls, d.h. die generelle Richtung der Abhängigkeit von Ti mit der Erregung war gleich, wenn auch auf einem anderen Niveau (Shift). Die Extravertierten zeigten ebenfalls die Tendenz zu grösseren Atemvolumen als die anderen beiden Gruppen. Was den Inspirationsfluss (Vi/Ti) und die subjektive Einschätzung der Erregung betrifft, unterschieden sich die verschiedenen Persönlichkeitstypen allerdings nicht voneinander. Obwohl eine Aktivierung stattfand, scheinen die extravertierten Personen ihre Atemantwort auf den äusseren Stimulus und dessen Verarbeitung ausgerichtet zu haben, während die Neutralen und Introvertierten Ti auf ihre ‚innere' Erregung ausrichteten. Lehmann (1914) stiess auf ein ähnliches Verhalten, wie wir es bei den Extravertierten festgestellt haben, wenn sich die Versuchspersonen vollständig einem Affekt hingaben. Dies entspricht der Beschreibung der Typen nach C.G Jung (1960), der festhält, dass Extravertierte ihr Erleben und Handeln vorrangig an der Aussenwelt orientieren und sich den äusseren Reizen – jedenfalls kurzfristig – völlig hingeben würden und er interpretiert dies als Folge einer herabgesetzten Hemmungskontrolle.

Durch empirische Betrachtungen, sowie durch einatmungsabhängige Einprägungsübungen kommt Neubeck (1992) zur Annahme, dass die Einatmung die Stimulusaufnahme begünstigt. Auch moderne Atemtherapien (z.B. Mittendorf) gehen davon aus, dass Einatmung und Wahrnehmung äusserer Reize miteinander verknüpft sind. Gallego et al (1991) zeigten, dass bei vorgegebener, willentlich kontrollierter Atmungsrate die mentale Leistung beeinflusst war. Sie konnten zeigen, dass bei vorgegebener Atemfrequenz der Zeitpunkt der Stimulus Präsentation wichtig wurde. Fiel der Stimulus genau zwischen der In- und Exspiration war der Effekt (Verlängerung der Reaktionszeit) - am grössten. Gemäss Eysenck (1970) wollen Extravertierte von aussen stimuliert werden. Die Verlängerung der Inspirationszeit wie sie hier festgestellt wurde unterstützt die Annahme von Neubeck (1992), dass die Einatmung in Beziehung zur Stimulusaufnahme steht und impliziert zusätzlich, dass über die Dauer der Einatmung die Stimulusaufnahme reguliert werden könnte. Wir interpretieren die langsamere und tiefere Atmung der Extravertierten im Vergleich zu den Neutralen und v.a. Introvertierten beim Bilder Anschauen als physiologische Äusserung der Aussenwelt-Orientierung der extravertierten Menschen.

In Übereinstimmung mit Saunders et al (1972) schliessen wir aus dieser Untersuchung, dass die Atemantwort durch die Persönlichkeitsvariable Extraversion beeinflusst wird und Persönlichkeitsvariabeln auch bei anderen Untersuchung von Atemantworten mit in Betracht gezogen werden müssen.

Zwischen der Valenz Dimension und der Dominanz Dimension wurde eine hohe Interkorrelation gefunden. Auch Hamm und Vaitl (1993) beschreiben dies obwohl in ihrer Studie eine grössere Anzahl verschiedener Bilder gebraucht wurden und damit ein grösserer affektiver Raum abgedeckt war als in unserer Untersuchung. Mittels Faktorenanlyse wurde gezeigt, dass die Dominanz Dimension nur einen geringen eigenständigen Varianzanteil der Eindruckseinschätzungen erklärt (Hamm und Vaitl 1993). Schon verschiedentlich wurde auf die Schwierigkeit der konsistenten Identifizierung einer dritten Dimension – neben Valenz und Arousal - verwiesen (Russell 1979, 1980, Storm und Storm 1987). Eine mögliche Erklärung dafür ist der nicht handlungsorientierte Kontext der Bildpräsentation. Dominanz-

empfindung steht nach Russel (1980) eher mit den Konsequenzen von Emotionen in Verbindung als mit den Emotionen selbst. Das statische Betrachten der Bilder ohne grossen Handlungsspielraum scheint wenig geeignet zu sein submissive oder dominante Zustände zu erleben. Wir werden darum in der weiteren Diskussion v.a. auf Arousal und Valenz eingehen, obwohl die Analyse der Atemparameter zeigte, dass ins-besondere Ti (erste 15sec), Te und Ttot eine Beziehung mit der Dominanz Dimension, nicht aber mit der Valenz Dimension haben könnten. Zwischen Arousal und Valenz konnte keine relevante Interkorrelation gefunden werden, wie dies üblicherweise mit dem grafischen Differential (SAM) festgestellt wird (z.B. Hamm und Vaitl 1993). Wir führen dies auf unsere selektive Stimulusauswahl zurück, die sich an den bekannten Einschätzungen der eingesetzten Bilder orientierte.
Die Beziehung zwischen der subjektiven affektiven Erregungseinschätzung (Arousal) zeigt einen ganz klaren negativen linearen Zusammenhang mit den Zeitparametern. Je höher die subjektive Erregung eingestuft wird, desto kurzer wird Ti, sowie Ttot. Dies entspricht den punktweisen früheren Befunden und Interpretationen von Wientjes (1993) und Boiten et al (1994), wurde aber noch nie in direkter Abhängigkeit gezeigt. Zusätzlich wurde das durch äussere Reize induzierte Arousal in Abhängigkeit von Persönlichkeitsvariabeln durch die Zeitparameter der Atmung ausgedrückt. So schreibt Artaud: „Or les temps du souffle....; c'est eux qui donnent au coeur humain sa forme...'. (1964)..

Der Inhaltionsfluss steht in linearer Beziehung zu beiden Hauptkomponenten der affektiven Einschätzung: Arousal und Valenz. Je höher das Arousal desto höher der Inhalationsfluss, je höher die Valenz, desto tiefer ist der Inhalationsfluss. Die Beziehung des Inhaltionsflusses zu Arousal ist eindeutig durch die Verkürzung von Ti mit zunehmendem Arousal bedingt. Die Beziehung von Vi/Ti mit Valenz ist v.a. deutlich in der zweiten Phase (%Sb) der Bilderpräsentation, was auch für die lineare Bezieheung zwischen Valenz und Ti gilt. Die Abhängigkeiten von Vi/Ti und Ti basieren also nicht auf der ersten Einschätzung des Stimulus sondern reflektieren mehr den strategischen Umgang mit den Bildern. Wurde ein Stimulus als angenehm erkannt und eingeschätzt begangen die Versuchspersonen länger und mit kleinerer

Flussrate einzuatmen, wurde ein Stimulus als unangenehm eingeschätzt, wurde kurz und mit grosser Flussrate eingeatmet: Je erregter, je unangenehmer, je dominierender eine Situation empfunden wird, desto höher liegt der Inhalationsfluss.

Die quadratische Beziehung von Vi mit Valenz wurde im Gegensatz zu Ti und Vi/Ti in den ersten 15 Sekunden sichtbar. Bei den Stimuli die sehr unangenehm eingeschätzt wurden, war die Einatmung tief, das Vi vergrössert, bei sehr angenehmen Bildern wurde das Vi wiederum auch etwas vertieft. Wobei zu bemerken ist, dass bei der als angenehm und erregend eingestuften Bildserie, die sexuelle Bilder und sportliche Aktivitäten zeigte, Vi in den ersten 15 Sekunden deutlich abnahm (im Schnitt um 10%)., was darauf hinweist, dass Bilder nicht alleine durch die Emotionsdimensionen beschrieben werden können. Insbesondere die Auswirkungen auf physiologische Parameter ist auch von anderen Kriterien, wie z.B. dynamisch - statisch mitgeprägt. Auch die Persönlichkeitsvariable Extraversion zeigte einen Einlfuss auf das Vi, indem die Extravertierten ein flacheres Vi verglichen mit den übrigen Versuchspersonen in den Pausen aufwiesen und Vi während dem Bilderanschauen insgesamt stärker steigerten.

Zustände grosser Entspannung sind verknüpft mit einem grossen Vi (Grossmann 1983). Ganz deutlich wird das auch im Non-Rem Schlaf IV, wo eine langsame tiefe regelmässige Atmung vorherrscht (Snyder und Scott 1972, Douglas et al 1982). Wenn sich Versuchspersonen emotionale Situationen vorstellten, fand Rehwoldt (1911) bei der Vorstellung von Wut und Angst eine Zunahme der Frequenz und des Atemvolumens. Walker et al (1997) stellten bei Versuchspersonen die Passiv-Rauch exponiert wurden im Vergleich zu einer Kontroll Exposition eine Vertiefung von Vi fest und dies wurde von Danuser (2001) als emotionales Coping interpretiert. Wenn wir uns durch externe Faktoren unangenehm berührt fühlen könnte eine Vertiefung der Atmung uns beruhigen, besänftigen und die Situation erträglicher machen, da ein hohes Vi sonst in entspannten Zuständen vorherrscht. Diese Befunde deuten auch auf eine quadratische Beziehung von Vi mit Stimulus Valenz hin. Boiten et al (1994) in ihrem exellentem Review über Emotionen und Atmung meinen:, Hence, it seems that variations in depth during rapid

breathing correspond with different points on a inhibition-excitation continuum, which may be more or less equivalent to a continuum extending from behavioural control to loss of control'. Eine klare Beziehungen zwischen der Aktivität der Corrugator- und der Zygomaticus-Muskel mit den Valenzbeurteilungen wurden mehrmals gezeigt (Greenwald et al 1989; Lang et al 1993; Hamm & Vaitl 1993). Die Aktivität des Corrugators ist bei negativen Reizen am grössten und bei ganz angenehmen Stimuli am niedrigsten (negative lineare Beziehung). Der Zygomaticus zeigt hingegen eine quadratische Beziehung zur Valenz: Für angenehme Bildern ist dessen Aktivität am höchsten, am niedrigsten für eher neutrale Stimuli, und ein wenig erhöht wieder bei tiefster Valenz.. Die Gesichtsnerven haben ihren Ursprung in der Medulla oblongata wo sich das Atemzentrum befindet. Einige Studien deuten darauf hin, dass die Aktivität der Gesichtsmuskel und die der Atmung eng miteinander gekoppelt sind (z.B. Ritz 1996, Porges 1994). Wenn man die Kurven der Beziehungen Valenz-Corrugator und Valenz-Zygomaticus aufeinander legt, erhält man eine Kurve, die sehr gut der entspricht, die für das Atemvolumen Vi in dieser Studie gefunden wurde nämlich höchste Werte bei tiefster Valenz, tiefste Werte bei neutraler Valenz und leicht erhöhte Werte bei höchster Valenz. Zu bemerken ist, dass diese quadratische Beziehung von Vi zur Valenz nicht bei der Mehrheit der Versuchspersonen zu finden war und dass eine kleinere Gruppe sogar die Tendenz zu einer entgegengesetzter Beziehung zeigte. Diese beiden Antwortmuster waren jedoch nicht mit Sex und Extraversion gekoppelt. Diese Befunde zeigen, dass möglicherweise mehr als eine einzige Reaktionsweise existieren kann.

Das Verhalten der Hautleitfähigkeit (SC) sowie ihrer Variabilität (SCV) inbezug auf die Korrelation mit dem Arousal bestätigt frühere Befunde (Lang et al 1993, Greenwald et al 1989), wobei auch quadratische Beziehungen (Hamm und Vaitl 1993, Bradley et al 1994) festgestellt wurden. Je höher die Erregungseinstufung desto grösser ist die Hautleitfähigkeit. Die Herzrate dagegen differenzierte weder über die Bildserien, noch konnte eine Beziehung zwischen den subjektiven affektiven Einschätzungen gefunden werden. Dies steht klar im Widerspruch zu früheren Befunden, in denen eine Beziehung der Herzrate mit der Valenz festgestellt wurde (Lang et al 1993, Bradley et al

1994, Greenwald et al 1989). Wir führen diesen Unterschied auf die unterschiedlichen Analyse Zeitfenster zurück. In den erwähnten Studien wurde die Herzrate über die 6 Sekunden ausgewertet, in denen ein Bild präsentiert wurde, wir hingegen betrachteten die Mediane von 15 Sekunden dauernden Zeitperioden. Lang et al (1990) argumentiert, dass die Abnahme der Herzrate, wie sie bei unangenehmen Bildern gefunden wurde eine Orientierungsreaktion darstellt. Wir präsentierten 5 Bilder mit ähnlichen Arousal und Valenz Einstufungen hintereinander und könnten damit theoretisch 5 x eine Orientierungsaktivität ausgelöst haben, wobei zusätzlich ein Habituationseffekt auftreten sollte. Dies macht es höchst unwahrscheinlich, dass wir die schnell einsetzende und sich rasch normalisierende Herzraten-Antwort erfassen konnten. Es besagt aber, dass die Bilder keine tonische Auswirkung auf die Herzfrequenz ausübten.

Einzig für die Variabilität der Herzrate wurde eine allgemeine Verringerung derselben beim Bilderanschauen verglichen mit den Pausen gefunden. Zusätzlich zeigte die Variabilität der Herzrate eine quadratische Beziehung mit dem Arousal, wobei bei tiefen bis mittleren Arousal Einstufungen die Variabilität deutlich verringert ist und mit den höheren Einstufungen zum Pausenwert ansteigt. Dies kann bei den höheren Arousalwerten auf die gefundene Verkürzung von Ti zurückgeführt werden, da das Rhythmuszentrum der Atmung in der Medulla oblongata die neurovegetative Beeinflussung auf das Herz mediiert (z.B. Porges 1994, Klinke und Silbernagl 1994, S. 699-700). So fanden Porges und Bohrer (1990), dass der Atemrhythmus hoch mit der HRV korrelierte. Es erklärt aber nicht das Verhalten der HRV bei den wenig erregenden Bildern. Es ist bekannt, dass unter aufmerksamkeitsfordernden Aufgaben oder Bedingungen die HRV abnimmt (Porges 1972, Porges und Raskin 1969, Richards und Casey 1991), so könnten die Abnahme der HRV bei den wenig erregenden Bildern das aufmerksame Betrachten der Bilder repräsentieren.

Beim Betrachten des Verhaltens der verschiedenen Atemparameter für jede einzelne Bildserie konnten unterschiedliche Muster sowie unterschiedliche Abfolgen beobachtet werden, die nahe legen, dass die physiolgischen Antworten eine Emotions-Spezifität aufweisen. Diese Untersuchung wurde pri-

mär um das affektive Dimensionsmodell angelegt und zielte nicht darauf zu überprüfen, ob Gefühle spezifische Atemmuster hervorufen, wie dies Bloch et al (1991), Santibanez und Bloch (1986), Levenson et al (1990) und Feleky (1914) versucht haben. Weder stützt diese Untersuchung noch stellt sie diese Forschungsrichtung in Frage, sie zeigt aber deutlich, dass das affektive Dimensionsmodell doch einen grossen Teil der Atemantwort erklären kann. Dieses Modell wurde gewählt, da wir ein bestehendes und operationalisierbares Modell brauchten, was durch die Arbeiten der Gruppe Lang gegeben war. Das Dimensionsmodell ist auch in grossen Teilen kompatible mit dem Response-requirement Modell (Boiten et al 1994, Lang et al 1997).

9 Integration der Resultate in den Stand des heutigen Wissens

9.1 Konzeption der mentalen Arbeit

Die Untersuchungen, in denen mentale Arbeit zu leisten war, zeigen auf, dass diese Art von Arbeit nicht nur die Atmung und die Herzfrequenz verändert, sondern auch die Selbsteinschätzung der Probanden hinsichtlich ihres subjektiven Befindens und ihrer Beanspruchung beeinflusst. Die Versuchspersonen betonten nachdrücklich, dass sie von den diversen mentalen Aufgaben in unterschiedlichem Masse in Anspruch genommen wurden. Aus dem Experiment II mit den unterschiedlichen kognitiven/motorischen Anforderungen ist klar ersichtlich, dass diejenigen Aufgaben, die mit starkem subjektivem Engagement, d.h. unter hohem Aufwand gelöst wurden, die Probanden auch am stärksten in Anspruch nahmen und von ihnen dementsprechend eingestuft wurden. Dies deckt sich durchaus mit unserer Vorstellung in bezug auf die Konzeption der Beanspruchung, die auf Schwierigkeit und Anstrengung durch mentale Arbeit zurückzuführen ist. Das investierte Engagement war von der Aufgabenstellung abhängig – ein Phänomen, das auch aus der Aufmerksamkeitsforschung bekannt ist. Es ist die Aufgabe, welche die Aufmerksamkeit reguliert. Der arbeitende Mensch investiert seinen Aufwand von Moment zu Moment, wobei der Stimulus, der die Leistung hervorruft, antizipierend oder auch in Form von Feedback eingreifen kann. Gemäss Richter und Hacker (1997) hat eine Aufwandsteigerung Auswirkung auf die Erregung oder das Arousal[3]. Wie wir jedoch auf Grund der Regel von Yerkes-Dodson (1908) wissen, weist die Erregung ein Aufgaben-Optimum auf. Wenn nun die Erregung dieses Optimum übersteigt, so nimmt die Leistung wieder ab. Also erweist sich eine Steigerung der Erregung nur dann als sinnvoll, wenn sich die zu stimulierende Person in einem Status unterhalb dieses Optimums befindet; ansonsten ist eine weitere Steigerung der Erre-

[3] Aktivierung, Erregung und Arousal werden im weiteren als Synonyme verwendet.

gung kontraproduktiv. Mentaler Aufwand erschöpft sich demzufolge nicht einfach in Erregung oder Aktivierung. Was aber ist letztlich unter Aufwand zu verstehen? Was bedeutet Erregung und was führt zu Beanspruchung?

9.1.1 Aufwand und Aufmerksamkeit

Die Untersuchung von Easterbrook (1959) – die im übrigen die Yerkes-Dodson-Regel bestätigte - verwendete als Indikator die Merkmalselektion, eine klassische Funktion der Aufmerksamkeit. Easterbrook versteht Erregung (Arousal) insofern als Funktion der Merkmalselektion, als eine zunehmende Erregung den Bereich, der vom kognitiven System berücksichtigten Umweltreize progressiv reduziert. Erregung bewirkt eine zunehmende Selektion der Aufmerksamkeit.

Was aber ist, oder vielleicht besser, was bewirkt Aufmerksamkeit? Gemäss Styles (1997) dient Aufmerksamkeit der Stimulus Selektion für die Erkennung eines Objektes, der Stimulus Selektion für die Gestalt-Integration, für die Selektion einer Handlung sowie für das Erinnern. Vor einem halben Jahrhundert realisierte man, dass eine Unzahl von Informationen von unseren Sinnen aufgenommen werden, aber nur wenige davon beantwortet werden. Eine erste Erklärung dafür gab Broadbent (1958), indem er annahm, dass nur einer beschränkten Anzahl der Informationen Zugang zu höheren verarbeitenden Zentren in unserem Gehirn gewährt werden, indem ein Filter vorgeschaltet sei. Bald aber wurde klar, dass einerseits auch Aufgaben irrelevante Information verarbeitet wird und unser Verhalten modifizieren kann (Moray 1959, Wood und Cowan 1995). Andererseits dass, nicht nur die physikalischen Eigenschaften von Aufgaben relevanten Objekten, sondern auch sogenannt höhere Repräsentationen von konzeptionellen und semantischen Eigenschaften aktiviert werden. Wir wissen heute, dass das Gehirn Informationen codiert durch den Gebrauch von verschiedenen Verarbeitungssystemen. Diese Spezialisierung wurde experimentell neurophysiologisch bei normalen Personen sowie auch durch die Analyse von Verhaltensänderungen nach lokalisierten Gehirnschädigungen gezeigt. Während jedes spezialisierte Verarbeitungssystem sehr wahrscheinlich Kapazitätsgrenzen auf-

weist, gibt es keine Anhaltspunkte für eine generelle Limitierung der Verarbeitungskapazität unseres Gehirnes. Damit wurde das Aufmerksamkeitsproblem re-definiert: Bei der gegebenen Menge an Informationen die gleichzeitig in verschiedenen Teilen unseres Gehirnes zur Verfügung stehen, wie wird das alles kombiniert und kontrolliert? Oder anders gesagt wie kann ein Reiz- Set unter einer bestimmten Voraussetzung die Handlung X kontrollieren, unter einer anderen Voraussetzung die Handlung Y? Kahneman (1973) verknüpft Aufmerksamkeit mit einer limitierten Ressource, die flexibel verschoben werden kann, wenn der menschliche Operator seine Zuweisungs-Politik von Moment zu Moment ändert. Er integriert in seiner Theorie auch Dispositionen, momentane Absichten und evaluative Entscheidungsprozesse. Deutsch und Deutsch (1963) vermuteten schon 1963, dass hereinkommende Signale nach ihrer Wichtigkeit gewogen und verglichen werden, um das unter den gegebenen Voraussetzungen wesentliche Signal zu bestimmen, das Signal, das den höchsten Aktivierungsgrad aufweist wird eine Antwort auslösen. 1949 schlug Hebb (1949) vor, dass Informationen in Zellverbänden ‚cell assemblies' codiert werden. Der Vorteil der Informationscodierung in Zellverbänden ist, dass individuelle Zellen (Neurone) zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Repräsentationen teilnehmen können und die neuronale Antwort eines individuellen Neurons vom Kontext, in dem das Neuron aktiv ist, abhängt. Singer (1994) meint, dass die Aktivität von verteilten Neuronen synchronisiert werden muss um Einfluss auszuüben, weil nur kohärente Aktivität die Chance der Weiterverarbeitung besitzt. Die Idee des Zusammengehörens (Binding) durch synchrone Entladungen wurde als möglicher zugrundeliegender Mechanismus für die Integration verschiedener Sinnes-Modalitäten (Damasio 1990), der Aufmerksamkeit (Crick 1984) sowie des Bewusstseins (Crick und Koch 1990) vorgeschlagen. Singer (1994) meint, dass Zellverbände die fähig sind Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen, hoch kohärente Entladungen aufweisen. Dies kann die ‚bottom-up' Auswirkungen von Reizen erklären (sog. automatische Verarbeitung: z.B. die schlechten Gerüche waren fähig wahrscheinlich über eine Verstärkung aus den emotionalen Hirnstrukturen (limbisches System, Amygdala) eine Synchronisierung von Zellverbänden im geruchsverarbeitenden System auszulösen und so die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen), erklärt aber nicht so-

genannte top-down Auswirkungen; . Es erklärt nicht die Auswirkungen der Motivation oder der Anweisungen des Experimentators.

Anhand von Blutflussmessungen im Gehirn schloss Roland 1985; ‚the brain seems to prepare the cortical fields expected to be needed for a task'. Für Roland (1995) impliziert die Kontrolle der Aufmerksamkeit, dass das Gehirn eine spezifische Organisation von verschieden scharf eingestellten (tuned) Feldern und Arealen unterhält. Duncan (1986, 1993) betont die Wichtigkeit von Zielen für die Selektion von Information und für das Verhalten. Er beschreibt dies als Prozess, der den passenden Input für die aktuelle Aufmerksamkeitsschablone sucht und diese spezifiziert, welche Infor-mationen gebraucht werden.

Mentaler Aufwand hat also gewiss etwas mit Aufmerksamkeit zu tun. Aufmerksamkeit wurde als Funktion der Perfomance-Ressourcen definiert (Nomran und Bobrow 1975). Wickens (1984) führte den Begriff der mentalen Ressourcen für Aufmerksamkeit, Effort und mentale Kapazität ein. Die hier vertretene Meinung ist, dass mentaler Aufwand Aufmerksamkeit bedeutet. Aufmerksamkeit mag noch kein einheitlich definiertes Konzept darstellen, ist aber intuitiv zugänglich, im Gegensatz zu mentalem Aufwand.

Schon 1986 betonte Öhman, dass heutige Arbeitsaufgaben, sowie ihre Umgebung ‚man-made' sind und sich erst in den letzten 200 Jahren entwickelt haben und, dass wenn man das Verhalten des Menschen verstehen will, die evolutionären Prozesse zu berücksichtigen sind. Lang et al (1997) führte den Begriff der motivierten Aufmerksamkeit ein für die Beschreibung der natürlichen selektiven Aufmerksamkeit. Er zeigt auf, dass die natürliche selektive Aufmerksamkeit abhängig ist vom Kontext sowie von der Wichtigkeit des Reizes für das Individuum, im speziellen für das Überleben des Individuums: ‚Attention is more likely to be sustained by stimuli that have motivational significance, compared to routine, affective neutral events' (Lang et al 1997). Emotionen können als Handlungs- Dispositionen verstanden werden (Lang 1997) und auf zwei Grundmotive; Aversion und Attraktion zurückgeführt werden (Konorski 1967, Dickinson und Dearing 1979). Der äussere Stimulus

wird gemäss seiner motivationalen/emotionalen Wichtigkeit eingestuft und nur wichtige Reize ziehen die Aufmerksamkeit auf sich. Für die natürliche selektive Aufmerksamkeit ist diese motivationale Steuerung gut einsehbar und konnte auch für den Paradefall der Orientierungsreaktion verschiedentlich nachgewiesen werden (siehe Experiment III mit den Gerüchen oder Bernstein 1969, 1979, Maltzman 1977, Näätanen 1979, Ben-Shakhar et al 1995) und stimmt überein mit der Aufmerksamkeits-Konzeption von Deutsch und Deutsch (1963). Signifikanz in der natürlichen selektiven Aufmerksamkeit ist exklusiv Stimulus oder ‚Data' getrieben, heute verwendet man dafür auch den Begriff ‚bottom-up' und dies ist ein Charakteristikum von automatischen Verarbeitungsprozessen. Automatische Prozesse beschränken sich nicht auf biologisch vorgegebene Mechanismen, sondern sind v.a. gelernte Antwortmechanismen (Posner und Snyder 1975).

Wie steht es aber mit ‚top-down' getriebener Aufmerksamkeit? Sind wir nicht aufmerksamer, wenn wir wissen, dass der Vortrag für unsere Arbeit oder die nächste Prüfung relevant ist? Werden verschiedene Aufgaben nicht auch mit emotionalen Begriffen versehen, wie eine ‚unangenehme Aufgabe', eine ‚lästige Aufgabe' oder eine ‚angenehme Pflicht'? Gemäss Lazarus und Avrill (1972) entstehen Emotionen im Kontext der kontinuierlichen Transaktion zwischen Individuum und Umwelt. Um ein kohärentes Verhalten aufrechtzuerhalten oder zu garantieren, müssen aus der Unzahl von zur Verfügung stehenden Informationen gewisse ausgewählt und kombiniert, andere aber auch ignoriert werden. Allport (1987) versteht unter Aufmerksamkeit ein ‚ensemble of mechanisms', die dem Gehirn erlaubt mit dem Problem der Selektion umzugehen, wobei die Limitierung der Aufmerksamkeit dazu dient kohärentes Verhalten zu ermöglichen. Stimuli, die das Verhalten nicht kontrollieren, werden somit unterdrückt. Diese Unterdrückung spielt sich auf verschiedenen Stufen der Stimulus-Repräsentation ab und ist von der zu erfüllenden Aufgabe abhängig (Tipper et al 1990). Bei visuellen und auditiven Stimuli wurden aber auch Synergie-Effekte nachgewiesen (Driver und Spence 1994), was suggeriert, dass insbesondere die räumliche Aufmerksamkeit gleichzeitig von verschiedenen Modalitäten beeinflusst wird. Anders gesagt: Um kohärentes, in Übereinstimmung mit unseren inneren Zielen und äusse-

ren Anforderungen stehendes Verhalten zu gewährleisten verändern und modifizieren wir die Aufmerksamkeit. Die eigentliche Determinante der Aufmerksamkeits-Kontrolle muss die innere Zielliste sein. Handlungen werden nämlich nicht nur durch das Aktivieren spezieller Schemata - eines Stimulus-Set oder eines Codes – hervorgerufen, sondern auch über die Aktivierung von Zielen. Das Ziel, das der Experimentator den Versuchspersonen vorgibt, wird also gleich in deren innere Zielliste integriert und kann bereits bei diesem Vorgang modifiziert werden; d.h. es wird derart integriert, dass es die prioritären Langzeitziele nicht gefährdet. Bereits für die Selektion des Inputs zuhanden des Informationsverarbeitungs-Systems und vor allem für die Steuerung des Verhaltens erweisen sich Ziele als überaus wichtig (Duncan 1986, 1993). Die Zielliste entspricht in ihren Funktionen und Auswirkungen den ‚inneren Zielvorgaben' in Hockeys (1997) mental Effort-Modell. Aufmerksamkeit ist also abhängig von unseren inneren Zielen und den äusseren Gegebenheiten, von unserer konzeptionellen Struktur und den Umgebungs-Daten. Die konzeptionelle Struktur eines Individuums ist ein Schlüsselfaktor im Verstehen, welche Situationen Emotionen auslösen (Lazarus et al 1980). Ja, Emotionen entstehen häufig im Kontext zwischen ‚data-driven' und konzeptionell-getriebener Informationsverarbeitung (Öhman 1986). Becker (1995) unterteilt die Emotionen in ‚angeborene' und ‚erworbene' ein. Entsprechend eines Regelkreisprinzips existieren Soll- und Istwerte im System. Sind Soll- und Istwerte nicht identisch, entstehen Diskrepanzen, die zu spezifischen Emotionen führen. Sollwerte werden dabei aus angeborenen Bedürfnissen oder im System erworbener Erwartungen oder Normwerte bereitgestellt und mit den Istwerten verglichen. Bei auftretenden Diskrepanzen treten Emotionen auf, deren Stärke abhängig ist von der Grösse der Ist-Soll-Diskrepanz, der Schnelligkeit der Veränderung der Diskrepanz und der persönlichen Bedeutung der Diskrepanz. Emotionen besitzen demzufolge eine energetische Funktion. Die Aufmerksamkeit dient also der Gewährleistung eines kohärenten Verhaltens im Kontext zwischen unseren Langzeitzielen und den aktuellen Anforderungen, das Match-Missmatch Verhältnis resultiert in Emotionen und definiert unsere Motivation für eine Aufgabe. Aufmerksamkeit würde demnach durch die emotional definierte Motivation gesteuert.

9.1.2 Die Handlung und Handlungsausführung

Mentale Aufgaben erfordern eine Aktion. Neuman (p375, 1987) definiert den Begriff Handlung oder Aktion als eine Sequenz von Bewegungen, die von derselben internen Kontrollstruktur koordiniert wird und die demnach nicht reflexartig abläuft. Handlungen werden durch erworbene Fähigkeiten kontrolliert; die als Schemata oder Aktionsprogramme (Rasmussen 1981, Hacker 1973, 1978) im Langzeitgedächtnis gespeichert sind und abgerufen bzw. eingesetzt werden können um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Die Bewegungen – des Mundes beim Sprechen oder auch der Extremitäten u.a. - sind demnach als Teil der Handlung und in diesem Sinne als Bestandteil der mentalen Aufgabe zu verstehen.

Bei einer Handlung ist als Erstes der Effektor auszuwählen. Um für die jeweilige Handlung eine effiziente Effektor-Wahl treffen zu können, ist die Integration der Wahrnehmung wesentlich, wie dies Allport (1987) betont. Angenommen, die wichtigen zusammengehörigen Attribute seien integriert, stellt sich für das verarbeitende System das nächste Problem: nämlich sicherzustellen, dass die anderen möglichen Handlungen unterbunden werden um Interferenzen zu vermeiden. Neumann (1987) argumentiert, dass dies durch Blockierungen geschehe. Wie nun aber Blockierungen ein- oder ausgeschaltet werden, bleibt dabei unklar. Wir wissen allerdings, dass Objekte, die zur Kontrolle einer Handlung ausser Betracht gelassen wurden, in der Folge nicht mehr wahrgenommen werden. Diese Inhibition manifestiert sich als negatives Priming oder als eine Verlangsamung der Antwort, v.a. dann, wenn z.B. inhibierte Objekte im nachfolgenden Aufgabenteil zum Zielobjekt gemacht werden (Tipper 1985, Driver und Baylis 1989). Das Phänomen des negativen Primings suggeriert, dass die Möglichkeit des Ein- und Ausschaltens eine Inhibition der Wahrnehmungs-Repräsentation potentiell wichtiger Objekte darstellt. Tipper et al (1994) zeigten auf, dass Inhibitions-Mechanismen zielabhängig sind und dass eine Inhibition durch unterschiedliche Eigenschaften des Stimulus initiiert werden kann, je nachdem, welche Eigenschaft des Stimulus jeweils als wichtig erscheint um die Antwort zu

kontrollieren, aber auch in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsgrad der Auswahl.

In der Untersuchung mit den verschiedenen mental-motorischen Aufgaben fiel die subjektive Einschätzung der Beanspruchung durch die Versuchspersonen beim Kombitest (motorische Anforderung gering) und beim schnellen Tapping (motorische Anforderung hoch) gleich aus. Die Anforderungen an die Motorik korrelierten in unseren Untersuchungen mit der Minutenventilation (MV) mit dem Inhalationsfluss Vi/Ti, sowie mit Vi - jedoch nicht mit Ti – und die Atemveränderungen wurden primär durch eine Erhöhung von Vi und nicht durch eine Ti-Anpassung repräsentiert. Es zeigte sich im Experiment II auch, dass Aufmerksamkeit nicht handlungsgebundene muskuläre Anspannung (Tension) induzierte. Insbesondere die Trackingaufgaben und das schnelle Tapping führte zu hohen Aktivierungen des Trapezius auf der dominanten Seite, sowie einer Mitinervation der kolateralen Seite. Wie beanspruchend eine Aufgabe empfunden wurde, widerspiegelte sich in der Herzrate, in der MV und im Vi, die letzteren beide waren deutlich mit der Motorik verknüpft. Die subjektive Beanspruchung und die muskuläre Spannung sind demnach eng miteinander verknüpft und induzieren oder verstärken sich gegenseitig.

Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass die motorische Beanspruchung mit der mentalen Beanspruchung interagiert, was auch aus den subjektiven Einschätzungen deutlich hervorging.

Die in der Untersuchung mit den verschiedenen mentalen Aufgaben (Experiment II) eingesetzten motorischen Dimensionen sind in der Arbeitswelt häufig anzutreffen. Tracking, das eine Muskelausbalancierung sowie Haltearbeit beinhaltet, lässt sich mit der motorischen und kognitiven Anforderung beim Computer Aided Design (CAD) vergleichen. Das schnelle Tapping, dass eine schnelle Abfolge von Sequenzen der feinmotorischen Aktivierung/Inhibition darstellt und höchste Dynamik erfordert, entspricht in etwa dem schnellen Maschinenschreiben. Beim Multitest, der konsistent als am meisten beanspruchend eingeschätzt wurde, sind zudem beide Hände als Effektoren involviert. Die gesamt motorische Beanspruchung ist auch deut-

lich am höchsten bei dieser Aufgabe. Mentale Aufgaben beinhalten Wahrnehmung, Auswahl eines Effektors, eine Handlung sowie eine Handlungskontrolle, auch die letzteren benötigen Aufmerksamkeit. Dies bedeutet, dass die Beanspruchung durch die Verrichtung an sich in die Betrachtung der Gesamt-Beanspruchung mit einzubeziehen ist. Es erweist sich demnach als wenig sinnvoll die motorische Beanspruchung von der Gesamtbeanspruchung abzuziehen und daraus die **„reine“** mentale Netto-Beanspruchung eruieren zu wollen. Die motorische Umsetzung gehört vielmehr implizit zur Aktion und trägt unweigerlich zur Anspannung des arbeitenden Menschen bei.

9.1.3 Aufgaben-Kombination und geteilte Aufmerksamkeit

Der Multi-Test, wie er im Geruchs-Experiment (III) sowie im Experiment mit den verschiedenen mental-motorischen Aufgaben (II) eingesetzt wurde, stellt eine Mehrfachverrichtung dar. Die Versuchspersonen schätzten den Multitest zwar am beanspruchendsten aber auch am interessantesten ein. Mehrere Dinge gleichzeitig zu verrichten fordert uns und ist interessant, und zwar ohne dass uns dies a priori übermässig beanspruchen muss – die Beanspruchung liegt doch klar unter der höchst möglichen Einschätzung -. Komplexe Tätigkeiten – und die meisten unserer Tätigkeiten sind in diesem Sinne komplex - können als Mehrfachverrichtungen aufgefasst werden. Kognitive Planung und ausführende manuelle Verrichtungen überlappen sich, kognitive und sensumotorische Verrichtungen werden parallel, d.h. streng gleichzeitig – oder auch im Wechsel reguliert. Derartige Überlappungen sind also nicht die Ausnahme, sondern die Regel (Richter und Hacker 1997). Mehrfachverrichtungen oder sogenannte Dual-Tasks werden experimentell eingesetzt, um die Inanspruchnahme der mentalen Ressourcen durch eine Aufgabe oder den Einfluss von äusseren (z.B. Lärm) und inneren (z.B. Müdigkeit) Stressoren zu bestimmen. Man kann sich aber auch fragen, wie sich Störungen während einer bestimmten Tätigkeit in Form von gleichzeitig oder kurz hintereinander geforderten anderen Tätigkeiten auf die primäre Aufgabe auswirken. Solche Störungen durch eine andere Tätigkeit oder durch einen Stressor werden Interferenzen genannt.

Im Geruchsversuch beispielsweise interferierten die übel riechenden Gerüche mit dem Gedächtnistest, und die Leistung nahm infolgedessen - als Funktion der Geruchsintensität - um beinahe 20% ab. Was ist hier eigentlich passiert? Meist wird dahingehend argumentiert, dass die ursprüngliche Aufgabe neu definiert werde. In unserem Fall wurde die primäre Aufgabe – nämlich das Tracking – aufrechterhalten, während die zweite, hier offensichtlich weniger wichtige Aufgabe geopfert wurde (Hockey 1997). Das erscheint plausibel. Der zusätzliche Stimulus, in diesem Fall der Geruch, beanspruchte - zumindest vorübergehend - die Aufmerksamkeit der Probanden um wahrgenommen und verarbeitet zu werden. Diese Aufmerksamkeit konnte sich nun nicht mehr voll auf die mentale Aufgabe richten, und die als weniger wichtig eingeschätzte Aufgabe – hier das Erkennen der Farbsequenz – wurde dabei aufgegeben. Dies setzt aber voraus, dass die Aufmerksamkeit limitiert ist. Warum jedoch wurde die Antwort auf die peripheren sich drehenden Kreise weiterhin eingehalten? Um dies zu verstehen, lohnt es sich hier das Wissen über das Phänomen Interferenz heranzuziehen.

Kahneman (1973) und Wickens (1984) gehen davon aus, dass wir über einen Pool von Verarbeitungs-Ressourcen verfügen, die gemäss den gerade aktuellen Aufgabenanforderungen zugeteilt werden (Ressourcen-Allokations-Theorie). Aufgaben werden als datenlimitiert bezeichnet, wenn sie nicht verbessert werden, auch wenn wir mehr Ressourcen investieren. Die Leistung ressourcenlimitierter Aufgaben hängt davon ab, wie viele Ressourcen wir investieren (Norman und Bobrow 1975). Frühere Untersuchungen kamen zum Schluss, dass Aufgaben-Kombinationen zwar limitiert sind (z.B. Posner und Boies 1971), doch Manipulationen des Inputs und des Outputs in bezug auf diese Aufgabenkombinationen ergaben, dass sie dennoch ausgeführt werden können (McLeod 1977). Insbesondere, wenn das Ausführungssystem für zwei Aufgaben verschieden ist, verschwindet die Interferenz (McLeod 1977/1978). Allport et al (1972) zeigte, dass komplexe Aufgaben – wie z.B. ab Blatt Klavier spielen und gleichzeitig eine auditive Aufgabe erfüllen – erlernt und ausgeführt werden konnten, ohne dass dies bei einer der beiden Aufgaben zu einer Einbusse der Leistung führte. Das deutet darauf hin, dass uns nicht etwa nur eine einzige Ressource, sondern

eine Vielzahl aufgabenspezifischer Ressourcen zur Verfügung stehen. Wenn die gleichzeitig zu erfüllenden Aufgaben nicht um dieselbe Ressource wetteifern, kommt es nicht zu einer Dual-Task-Interferenz (McLeod und Posner 1984). Doch Untersuchungen von Pashler (1990), Fagot und Pashler (1992), Carrier und Pashler (1995) implizieren, dass das gleichzeitige Auffinden zweier Handlungs-Programme nicht möglich sei, selbst wenn die Aufgaben verschiedenartig seien. Neumann (1984) argumentiert im Zusammenhang mit Störfaktoren, diese würden nicht nur Interferenzen produzieren, weil sie präsentiert und verarbeitet werden müssten, sondern vor allem, weil sie mit der beabsichtigten Handlung in Beziehung stünden. Die Untersuchungen von Posner (1980) zeigen, dass es je nach der räumlichen Position von Objekten oder Hinweisen zu Interferenzen kommen kann oder nicht. Hinweise in der optischen Peripherie konnten nicht ignoriert werden, solche im zentralen Blickfeld aber können, wobei die zentralen Hinweise einer zusätzlichen zentralen Verarbeitung bedurften. Das periphere Signal in der Multitest-Aufgabe drehte sich oder erzitterte, es resultierte eine Bewegung. Bewegung im Gesichtfeld wird durch ein spezielles neurales System analysiert. Wir können in der äusseren Peripherie des Gesichtfeldes keine Bewegung erkennen. Statt dessen löst ein sich in der Peripherie bewegendes Objekt einen unbewussten Reflex aus (Kandel et al 1995, S 452-453). Wenn ein Stimulus-Input mit einem Output, einem sog. ‚privileged Loop' verknüpft ist - z.B. Hören eines auditiven Signals bei gleichzeitigem Sprechen, oder periphere Bewegung führt zu einer Reaktion - dann können diese beiden Aktivitäten gemäss Posner (1980) weder gestört werden noch beeinträchtigen sie andere Aufgaben.

Einer der meist untersuchten Effekte in kognitiver Psychologie ist der Stroop-Effekt (Stroop 1935). Stroop präsentierte seinen Versuchspersonen das Wort Blau - geschrieben mit roter Tinte. Wenn die Aufgabe darin bestand das Wort zu lesen, so erwies sie sich als sehr einfach, bestand die Aufgabe aber darin die Tintenfarbe zu nennen, so kam die Antwort langsamer.

Hier geht Folgendes vor sich: Unsere Fähigkeit selektiv auf einen Aspekt des Stroop-Stimulus zu achten wird durch den anderen Aspekt vermindert. Auch wenn wir beabsichtigen einzig auf die Farbe der Tinte zu achten, so lässt sich das geschriebene Wort nicht total ignorieren. Normalerweise verläuft der Stroop-Effekt asymmetrisch: Bei den in inkongruenter Farbe geschriebenen Farbbezeichnungen interferiert der Name mit der Tintenfarbe und nicht umgekehrt. Das Wort aktiviert die Antwort automatisch (Privileged Loop), selbst wenn die bewusste Kontrolle uns ermöglicht die Tintenfarbe zu benennen, so kostet es uns doch mehr Zeit. Wenn die Aufgabe darin besteht zu entscheiden, ob Stimuli physikalisch zusammen passen, so erfolgt dies bei Farben schneller als bei Wörtern. Ein Privileged Loop stellt

eine automatische Verbindung zwischen Input und Output dar. Posner und Snyder (1980) heben in ihrer Theoriebildung das Verhältnis zwischen bewusst kontrollierten Prozessen und anstrengungsfreien, automatischen Prozessen hervor. Neuman (1984) listet drei Primär-Kriterien für automatisches Verarbeiten auf:

1. Modus der Operation: Automatische Prozesse operieren ohne Kapazität. Sie werden weder gestört noch können sie stören.
2. Kontrollmodus: Automatische Prozesse werden durch den Stimulus kontrolliert und nicht durch die Absichten (Strategie, Erwartungen, Pläne) der Person.
3. Modus der Repräsentation: Automatische Prozesse werden meist nicht bewusst wahrgenommen.

Neumann (1987) relativiert jedoch diese Kriterien, indem er meint, dass graduierbare Abstufungen in der Menge der Kontrolle vorhanden seien und dass auch Privileged Loops eventuell der Kontrolle bedürften.

Kommen wir nun zurück auf die übel riechenden Gerüche, welche zwar die Leistung im Farbsequenz-Gedächtnis-Test beeinträchtigten, nicht aber bei der Aufgabe, die peripheren, sich drehenden Kreise zu konstatieren – hier wurde nur die Reaktionszeit unter NH3 verlangsamt, die Antworten hingegen wurden davon nicht beeinträchtigt: Sie blieben weiterhin richtig. Die räumliche Stellung in der Peripherie zusammen mit der Bewegung zwingt uns - wie auch die Untersuchungen von Posner (1980) zeigen - diese auch zu beantworten. Die Antworten darauf erfolgten unter NH3 zwar verzögert, aber korrekt. Die Reaktionszeit bei der Farbsequenzen war nicht etwa verlangsamt, es wurden auch nicht Fehler im Erkennen der jeweiligen Sequenz begangen – also falsche Antworten gegeben -, sondern die Sequenzen scheinen ganz einfach ignoriert oder nicht mehr erkannt worden zu sein. Entweder wurde die Aufgabe re-definiert im Sinne von: ‚Achte nicht mehr auf die Farbsequenzen'. Oder die Farbsequenzen beanspruchten den gleichen Verarbeitungsmodus wie die Gerüche. Oder die Gerüche standen in einem Zusammenhang mit der beabsichtigten Handlung die Farbsequenzen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Eine Erklärungsmöglichkeit ist, dass die Gedächtnissaufgabe und die Gerüche auf dieselbe kognitive Ressource zurückgreifen (Interferenz). Lorig (1999) argumentiert, dass Gerüche ‚zeitliche Gemische' darstellen: Um olfaktorische Signale zu interpretieren muss das zentrale Nervensystem neurale Codes über eine gewisse Zeitdauer akkumulieren. Dasselbe gilt für die Farbsequenz Aufgabe; man muss die letzten zwei Farben ‚im Kopf' behalten

um zu entscheiden ob mit der neuen Farbe die Sequenzbedingungen erfüllt sind. Dies könnte zu der gefundenen Interferenz führen.

Eine andere Möglichkeit ist, dass die komplexe Aufgabe unter den übelriechenden Gerüchen re-definiert wurde; indem das Tracking als primär und die Gedächtnissaufgabe als sekundär eingestuft wurde. Die Aufrechterhaltung der als primär eingestuften Aufgabe wurde unter Lärm, Schockdrohung, und anderer Umweltbedingungen gefunden (Baddeley 1972, Broadbent 1971, Hockey 1970, 1979). Das Tracking wurde nicht als Haupt oder Primäraufgabe eingeführt, alle Komponenten der Aufgabe wurden vom Experimentator als gleichwertig behandelt und die Aufgabe wurde als Ganzes eingeübt. Das kontinuierliche Adjustieren des Cursors zum sich bewegenden Objekt auf dem Bildschirm verlangt kontinuierliche Aufmerksamkeit und Kontrolle des Effektors (Hand). Dies macht eine Einschätzung des Trackings als primär plausibel.

In der Natur wird die selektive Antwort auf einen Stimulus diktiert vom Antriebszustand des Organismus – Hunger, sexuelle Bedürfnisse, drohende Gefahr. Die Geruchswahrnehmung und -einschätzung entscheidet bei vielen Tieren über Leben oder Sterben. Übel riechende Gerüche werden als Bedrohung erlebt. Vroon (1994) beschreibt sehr eindrücklich, dass wir Europäer üble Gerüche für die Pest verantwortlich machten sowie diese mit Gerüchen zu bekämpfen versuchten. Ein Stimulus, dem eine motivationale Wichtigkeit zufällt, wird die Aufmerksamkeit stärker auf sich ziehen als ein affektiv neutraler Stimulus. Auch wenn wir Menschen uns nicht (mehr?) primär über Gerüche orientieren sind die entsprechenden Wahrnehmungsstrukturen stark mit dem affektiven System verknüpft (van Toller 1988, Jarrard 1995). Übel riechenden Gerüche können als drohende Gefahr interpretiert werden und uns daher zwingen unsere Aufmerksamkeit auf sie zu lenken. Gemäss Becker (1995) würden die Gerüche zu den angeborenen Emotionen gehören.

Ein Zurücknehmen der Aufmerksamkeit bei Mehrfachaufgaben betrifft häufig das Arbeitsgedächtnis oder induziert eine Verlagerung auf einen weniger Ressourcen gebrauchenden Kontrollmodus (Hockey 1997). Aufgaben, die das Arbeitsgedächtnis brauchen, werden generell als störungs-empfindlich

angeschaut, werden sie aber als Primäraufgabe wahrgenommen, können sie aufrechterhalten werden, indem neue Arbeitsweisen eingeführt werden.

Dies führt zur folgenden Hypothese: Stimuli, die eine Bedrohung der inneren Zielvorgabe darstellen, ziehen die Aufmerksamkeit auf sich und interferieren mit der Aufgabe, indem sie eine Redefiniton derjenigen Teilaufgabe auslösen, deren Verarbeitung am stärksten mit dem Reiz interferiert.

9.1.4 Die Regulation

Die Aufgaben wurden analog zum Ziel des Experimentes II in eine kognitive und eine motorische Komponente aufgeteilt. Diese wurden durch Experten in zwei Rangfolgen eingeteilt. Die Experten Einschätzung der kognitiven Anforderungen entsprach genau der subjektiven Einschätzung des ‚Interessens'[4]. Das Interesse korrelierte schlecht mit der subjektiven Einschätzung der Beanspruchung, auch wenn eine Beziehung zur Herzrate festgestellt werden konnte. Dies könnte bedeuten, dass die Experten zwar adäquat einschätzen können, wie erregend oder wie langweilig eine Aufgabe ist, aber die eigentliche Grösse, welche die Beanspruchung ausmacht, nicht genau einschätzbar ist. Wie wir gesehen haben, spielt die motorische Anforderung eine Rolle. Gemäss dem zu Grunde liegenden Modell der mentalen Arbeit muss die erforderliche Tätigkeitskontrolle oder –Regulation ebenfalls miteinbezogen werden.

Was aber bedeutet Tätigkeitsregulation? Hockney (1997) geht davon aus, dass die Routine-Regulation automatisch funktioniert und keine Kosten verursacht, wohl aber die höhere Regulation: der Aufmerksamkeits-Manager (Effort-Manager). Er sagt, die Wahrnehmung der Belastung erfordere ein Verlagern der Kontrolle auf ein höheres Regulationszentrum und dies bewirke Kosten. Der Aufmerksamkeits-Manager funktioniert nicht automatisch.

[4] Im zweidimensionalen Modell von Warr (1987), das in enger Beziehung zu arbeitspsychologischen Fragestellungen steht, entspricht die Beziehung langweilig – interessant der Arousal-Dimension, wobei nur langweilig, nicht aber interessant wörtlich vertreten ist.

Auch Richter und Hacker (1997) sind der Ansicht, dass die eigentliche Beanspruchung durch die Tätigkeitsregulation verursacht wird.

In der Aufmerksamkeitsforschung wird das mentale Verarbeiten von Information ebenfalls mit dem Ablauf zweier verschiedener Kontrollprozesse erklärt. Im automatischen Modus erfolgt die Verarbeitung als passiver, durch eine Stimulation angetriebener Prozess, der parallel funktioniert und keine Aufmerksamkeit beansprucht. Im Kontroll-Modus wird die mentale Verarbeitung bewusst im Hinblick auf die vorhandenen Absichten überprüft und ist mit einem gewissen Zeitaufwand verbunden. Posner und Snyder (1975) postulieren, dass automatische Aktivierungsprozesse sich dadurch auszeichnen, dass sie ohne bewusstes Erkennen und ohne Interferenz mit anderen mentalen Aktivitäten funktionieren. Bewusst kontrolliertes Verarbeiten ist von limitierter Kapazität und nur reduziert verfügbar, wenn es für eine Operation benötigt wird. Die Schlechten Gerüche verursachten im Experiment III eine Orientierungsreaktion. Eine Orientierungsreaktion stellt einen automatischen Aktivierungsprozess dar und sollte gemäss Posner und Snyder (1975) keine Interferenzen verursachen. Die Leistung in der Gedächtnisaufgabe nahm aber deutlich ab. Die Konzeption, dass ein automatischer Verarbeitungsmodus keine Interferenzen verursacht muss daher angezweifelt werden, wie dies auch Neuman (1987) schon getan hat. Im Gegensatz dazu verursachten die sich bewegenden Kreise in der Peripherie, die auch eine Orientierungsantwort (Kandel et al 1995) auslösen, keine Interferenzen (Experiment II). Öhman (1986) differenziert zwischen der klassischen Orientierungsantwort (non-signal) und einer Signal orientierten Antwort, wobei die Unterscheidung der beiden auf dem Nichtübereinstimmen des Inputs mit der Situation (klassische Orientierungsantwort) oder dem Übereinstimmen mit der aktuellen Aufgabe (Signal orientiert) basiert. Wie von Öhman theoretisch postuliert, verursachte die klassische Orientierungsantwort eine Interferenz, hingegen die signal-orientierte Antwort nicht.

Eine bestimmte, in der Aufmerksamkeitsforschung gebräuchliche Form des Experiments - nämlich ‚mental shift' - scheint mir im Zusammenhang mit der Aufmerksamkeitsregulation sehr wichtig, und es lohnt sich dieses Verfahren näher anzuschauen. Jersild (1927) führte erstmals ein Shift-Experiment

durch, in dem er von seinen Versuchspersonen forderte zwischen verschiedenen Rechnungsaufgaben hin und her zu wechseln, und zwar nicht blockweise, sondern innerhalb der verschiedenen Elemente der jeweiligen Aufgabe. Er gab den Versuchspersonen z.B. eine Liste mit 25 zweistelligen Zahlen und stellte ihnen die Aufgabe zur ersten Zahl 6 zu addieren und von der zweiten Zahl 3 zu subtrahieren. Der Vergleich zwischen der für diese Liste aufgewendeter Zeit und der für die getrennten Rechenkalkulationen benötigte Zeit brachte nach Jersild einen Shift-Verlust zu Tage; dieser betrug pro Item bis zu einer Sekunde! Auch beim Einsatz eines mehrdeutigen Stimulus – der nicht eindeutig auf die zu verrichtende Aufgabe hinweist – stellten Spector und Beiderman (1976, p 669) erhebliche Shift-Verluste fest. Erst 1994 griffen Allport et al die Shift-Forschung wieder auf und variierten auch die Aufgabenstellungen. Eine ausführliche Übersicht und Beispiele für Shift-Aufgaben finden sich bei Styles (1997 p192-201). Shift-Aufgaben beinhalten Stimuli, die zweideutig sind, z.B. eine Vierergruppe von Zweiern (2222) bedeutet einerseits zwei, andererseits sind 4 Zweier vorhanden, was 4 suggeriert. Beide Bedeutungen werden wahrgenommen, und da das Verbalisieren der Ziffer 2 in Zwei eine gebräuchlichere Aktion darstellt, wird dieses Aktionsprogramm oder Schema getriggert. Die Aufgabe würde nun darin bestehen einmal 2 = Zwei zu sagen und bei der nächsten Gruppe die Anzahl 2er = Vier, so muss für die Gruppenanzahl das dominante Aktionsprogramm bewusst durch ein neues Aktionsprogramm ersetzt wird. Wenn die Ausführung der zweiten Aufgabe voraussetzt, dass das dominante Aktionsprogramm (privileged loop) zuerst überwunden werden muss, so erfordert dies eine aktive Kontrolle. Wenn nun zwischen zwei nicht dominanten Aktionsprogrammen gependelt werden muss, so wäre zu erwarten, dass die Shift-Kosten grösser werden, da beides Mal ein dominantes Programm zu überwunden wäre, also mehr Kontrolle benötigt würde. Die Shift-Kosten waren aber im Experiment von Allport et al (1994) gleich gross, unabhängig davon, ob nun zwischen einem dominanten und einem nicht-dominanten Aktionsprogramm gewechselt werden musste oder zwischen zwei nicht-dominanten (Allport et al 1994). Allport zeigt aber auch auf, dass die Shift-Kosten nicht auf die für eine Kontroll-Prozedur benötigte Zeit zurückzuführen sind, sondern auf sog. Interferenzen. Offenbar ist es der Konfliktlösungs-Prozess, der

Zeit benötigt, bis entschieden wird, welches Aktionsprogramm anzuwenden ist, wenn ein störendes Schema schon vorher aktiviert war. Auch die Zeit zwischen den Stimuli wurde variiert in der Annahme, dass die Zeit das zuvor aktiv gewesene Aktionsprogramm weniger wirksam werden liesse, doch dies brachte keinen Vorteil. Das bedeutet, dass man nach dem Sich-Wegwenden von einem Aktionsprogramm vorerst warten muss, bis der nächste Stimulus erfolgt, der eine Aktion zu triggern vermag. Ein weiteres Experiment derselben Forschergruppe (Allport et al 1994) zeigte auf, dass unmittelbar nach dem Wechsel eines Stimuluskriteriums zwischen 5 und 7 Stimuli erforderlich waren, bis die frühere Leistung wieder erreicht wurde. Dies weist ebenfalls darauf hin, dass der Aktionsprogrammwechsel eines neuen Stimulus bedarf. Ein stimulusabhängiges Verarbeiten ist jedoch ein Charakteristikum des automatischen Verarbeitungsmodus. Diese Resultate stellen die Unterscheidung zwischen kontrolliertem und automatischen Verarbeiten ebenfalls in Frage. Sie deuten darauf hin, dass jeder Wechsel eines Aktionsprogramms mit Kosten verbunden ist. Tätigkeitsregulationen verändern unsere Arbeitsweise oder die Aufgabendefinition in der Anforderungs-Auseinandersetzungs-Konzeption. Eine veränderte Arbeitsweise, aber auch eine neue Aufgabendefinition ziehen zwangsläufig einen Wechsel des Handlungsprogramms nach sich: Schneller oder weniger genau zu arbeiten oder aber eine Teilaufgabe gar nicht mehr wahrzunehmen - solche Umstellungen können doch nur vollzogen werden, wenn sich das oder die ihnen zugrundeliegenden Handlungsprogramme verändert haben. Diese Wechsel erfolgen auf Kosten der Aufmerksamkeit. So kann postuliert werden, dass die Beanspruchung den Nettoeffekt der Tätigkeitsregulation und der damit implizierten Kontrolle darstellt. Aber auch eine gut erlernte automatische Handlung, z.B. das langsame Tapping, sollte eigentlich keiner Tätigkeitsregulation bedürfen und demnach keine Beanspruchung zur Folge haben. Der Atmungsdrive nahm de facto aber auch beim langsamen Tapping zu. Es stellt sich also die Frage, ob es Handlungen gibt, die sich ohne Tätigkeitsregulation bewerkstelligen lassen - eine Frage, die zur Zeit noch nicht beantwortet werden kann. Doch selbst wenn solche hoch automatisierten Handlungen existieren sollten, so ist in der Laborsituation doch davon auszugehen, dass sämtliche Tätigkeiten der Regulation bedürfen. Das Ausmass der benötigten

Regulation ist jedoch abhängig von der Aufgabe selber sowie vom Zustand jenes Individuums, das diese Aufgabe ausführt.
Wie die Kontrolle der Tätigkeitsregulation konkret vor sich geht, bleibt immer noch ungeklärt. Nach Baddleys (1986) Modell vom Arbeitsgedächtnis sowie nach Hockeys energetischem Modell der geistigen Arbeit existiert eine Instanz, welche die Kontrolle über das System ausübt. Ohne Kontrolle würde das System ausschliesslich durch externe Stimuli determiniert. Die Experimente von Allport machen jedoch deutlich, dass das, was eigentlich der Kontrolle des Individuums unterstehen sollte, zugleich auch von äusseren Reizen abhängig ist. Auch die Experimente von Rogers und Monsell (1995) - in ihnen war eine Antizipation des Programmwechsels eingebaut - zeigten, dass ein exogener Trigger notwendig war. Rogers und Monsell (1995) halten ihre Resultate für eine Bestätigung des Modells von Norman und Shallic (1986): Die Aktivierung eines Handlungsprogramms (Task Set) wird zwar durch einen externen Stimulus ausgelöst, doch wird diese Aktivierung durch interne Prozesse moduliert. Diese Prozesse wiederum gewährleisten, dass das adäquate Handlungsprogramm in Aktion tritt und die erforderliche Verrichtung veranlasst. Unter einem adäquaten Handlungsprogramm verstehe ich dasjenige Programm, das ein kohärentes Verhalten gewährleistet.

Hockney (1997) setzt Ängstlichkeit oder sonstige negative Affekte gleich mit dem Output des Handlungs-Monitors. Ein negativer Affekt ist gemäss Lazarus und Folkman (1984) der Indikator der Ersteinschätzung (primary appraisal), der das Ausmass der wahrgenommenen Anforderung oder Infragestellung unserer aktuellen Ziele anzeigt. Die Einschätzung der Valenz im Geruchsexperiment dürfte sich daher nicht nur auf die Gerüche beschränken, sondern auch darauf, dass das aktuelle Ziel (nämlich die Aufgabe möglichst gut zu lösen) in Frage gestellt wurde. Die Situation wurde insbesondere unter Einwirkung der beiden übel riechenden Gerüche während der mentalen Aufgabe als unangenehmer empfunden als unter Ruhebedingungen.

9.1.5 Aufmerksamkeit als motivational gesteuerte Neuromodulation

Unter Neurotransmission versteht man, dass ein Neuron an der Synapse eine Substanz abgibt (z.B. Glutamat), welche das Öffnen des Ionen-Kanales

auf der anderen Seite des Spaltes bewirkt und dadurch das Membranpotential verändert. Das passiert genau an einer Synapse und braucht wenige Millisekunden (genaue Lokalisation und schnell). Zusätzlich zu solch schnellen und räumlich genau lokalisierten informations-verarbeitenden Neuronen gibt es Prozesse, in die nur wenige Neuronen unseres Gehirnes involviert sind. Diese Neuronen sind nicht direkt an der Informationsverarbeitung beteiligt, sondern geben Substanzen wie Noradrenalin, Dopamin, Serotonin und Azetylcholin ab. Der Effekt dieser Substanzen wird nicht durch Ionen-Kanal Rezeptoren vermittelt, sondern durch Rezeptoren, welche biochemische Reaktionen in der Zelle steuern (G-protein-gekoppelte Neuronen). Diese biochemisch vermittelten Reaktionen brauchen mehrere hundert Millisekunden. Es existieren in unserem Gehirn nur wenige solcher Neuronen (ca. 1% aller Neuronen), sie sind unspezifisch, in einer nicht örtlichen Art verknüpft und sie sind langsam. Also können sie keinen eigentlichen Informationsverarbeitungs-Job erledigen, aber sie beeinflussen das Funktionieren der schnellen informationsverarbeitenden Glutamat Neuronen. Der Einfluss dieser diffus verknüpften Neurone durch die Abgabe von Substanzen wird Neuromodulation genannt.

Kaczmarek und Levitan (1987) definieren Neuromodulation als die ‚Fähigkeit von Neuronen ihre elektrische Eigenschaft als Antwort auf intrazelluläre biochemische Veränderungen resultierend aus synaptischer oder hormoneller Stimulation zu ändern'. Neuromodulatoren verarbeiten nicht direkt Information aber sie beeinflussen die Informationsverarbeitung. Die Neuromodulation setzt die generellen Verarbeitungsparameter und adjustiert diese gemäss den Anforderungen der Umwelt.

Aufmerksamkeit hat Auswirkungen auf das Gehirn. Wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf einen spezifischen Aspekt unserer Umgebung richten, wird selektiv die Aktivität in dem Gehirn-Areal erhöht, das diesen Aspekt verarbeitet (Corbetta 1991, Roland 1985). Erhöhte Aktivität in einem kortikalen Areal bedeutet erhöhte synaptische Transmission und daher grössere Verarbeitungs-Energie. Die Auswirkung der Aufmerksamkeit kann als Aktivierungserhöhung von kortikalen Arealen interpretiert werden. Aufmerksamkeit be-

stimmt die Aktivität und Aktivität ist die Vorbedingung für Veränderungen (wie z.B. Lernen) (Spitzer 1999).

Noradrenalin und Dopamin verstärken das Verhältnis zwischen dem Signal und dem Rauschen in neuronalen Systemen (Cohen und Servan-Schreiber 1992, Segal und Bloom 1976, Waterhouse et al 1990, McLean und Waterhouse 1994). Diese Neuromodulatoren erhöhen bildlich gesprochen den Kontrast. Auf den ersten Blick erscheint ein grosses Signal/Rausch Verhältnis für alle Umstände vorteilhaft. Aber ein maximales Signal mit wenig Rauschen könnte äusserst hinderlich sein für kreatives Problemlösen. Im Gegensatz dazu könnte eine niedrigeres Signal/Rausch Verhältnis mit gewissen lateral eindringenden Gedanken (wie wir es z.B. im ‚Brainstorming' anwenden) hilfreich sein. Bei neuronalen Netzwerk-Modellen konnte gezeigt werden, dass das Rauschen die Reorganisation von solchen Netzwerken fördert (Spitzer 1999 Kap. 7). Der Rausch Pegel ist sehr wahrscheinlich ein wesentlicher Faktor zur Optimierung des Lernens in neuronalen Systemen. Rauschen muss daher als Eigenschaft eines Systems und nicht als Störung angeschaut werden, da das Rauschen, in Abhängigkeit von der zu bewältigenden Aufgabe, entweder hilfreich oder nachteilig ist. Daher muss es Möglichkeiten geben das Signal/Rausch Verhältnis zu modifizieren. In normalen Versuchspersonen führen Stress und Ängstlichkeit dazu, dass Standard Assoziationen produziert werden (wie weiss-schwarz, Mama-Vater) und unübliche Assoziationen kommen weniger vor (Mintz 1969). Unter Angst oder Gefahr-Bedingungen macht es keinen Sinn lateral zu denken oder Querverweisen nachzugehen, sondern man hat schnell und effektiv zu reagieren. Das Signal/Rausch Verhältnis muss demnach hoch sein.

Die Weite der Aktivierungs-Ausbreitung in einem Netzwerk korrespondiert mit der Genauigkeit der Aktivierung und wird durch Dopamin oder Noradrenalin kontrolliert (Cohen und Servan-Schreiber 1992). Wenn z.B. Dopamin erniedrigt ist, wird der Fokus breiter und der Zugang weniger scharf und verlässlich, was einem niedrigen Signal/Rausch Verhältnis entspricht. Das umgekehrte ist der Fall unter hoher Dopamin-Konzentration: das Signal/Rausch Verhältnis ist hoch und der Fokus eng und verlässlich. Waterhouse et al (1990) und McLean und Waterhouse (1994) fanden, dass Noradrenalin vi-

suell ausgelöste Reaktionen erhöhte und teilweise erst ermöglichte. Auch kam es zu einer schärfer definierten Grenze der rezeptiven Felder. Die Autoren schlossen aus ihren Untersuchungen, dass Noradrenalin die Kapazität besitzt, die Wahrnehmungsschwelle für afferente Signale zu modifizieren sowie die ‚feature extraction properties' zu ändern. Noradrenalin kann also die Auflösung visueller Verarbeitung zustandsäbhangig kontrollieren.

Es wird daher vorgeschlagen, dass Aufmerksamkeit eine Neuromodulation darstellt, indem in benötigten Neuronenverbänden das Signal/Rausch Verhältnis vergrössert, in nicht benötigten Neuronenverbänden das Signal/Rausch Verhältnis verkleinert wird. Das vergrösserte Signal/Rausch Verhältnis in den benötigten Zellverbänden bewirkt ihre Synchronisierung. Ob dies über Noradrenalin oder im Zusammenspiel mit Dopamin oder durch eine noch unbekannte neuromodulatorische Substanz geschieht, kann hier nicht weiter ausdiskutiert werden.

Angenommen dies sei so, stellt sich nun die Frage, was steuert diese Neuromodulation. Einerseits wissen wir, dass schon die Erwartung die Aktivität in den Hirngebieten steigert, von denen angenommen wird, dass sie gebraucht werden. Andererseits zeigen sogenannte Shift-Aufgaben, dass selbst wenn genügend Zeit gegeben wird, um die geshiftete Aufgabe vorzubereiten, die Reaktion dennoch verzögert ist (Allport et al 1994). Daraus leiteten Roger und Monsell (1995) ab, dass, wenn Aufgaben Sets gewechselt werden müssen, mindestens zwei Komponenten involviert sind; ein initialer endogener Prozess, der in Antizipation einer Aufgabe wirkt und eine zweite Komponente, die exogen getriggert wird, wenn der Aufgaben relevante Stimulus erscheint. Antizipation kann verstanden werden als eine relativ ungenaue Neuromodulation, welche sich erst durch den exogenen Stimulus und seine Verarbeitungswege einjustiert.

Das hier dargelegte Aufmerksamkeitsverständnis besagt, dass das Individuum gemäss seiner Motivation, die aus dem Match-Missmatch-Verhältnis zwischen Langezeitzielen und aktuellen Gegebenheiten resultiert, Aufmerksamkeit investiert. Die Aufmerksamkeit bewirkt eine Neuromodulation der notwendigen Verarbeitungsprozesse, wobei äussere Stimuli notwendig sind

um diese genau zu adjustieren. Stimuli oder Aufgaben-Sets, die in sich eine motivationale Bedeutung ‚Wichtigkeit' aufweisen, können diese Neuromodulation direkt aufrufen und können auch das autonome Nervensystem involvieren.

9.1.6 Fazit:

Unsere Untersuchungen bestätigen, dass externe Störfaktoren die mentale Leistung beeinträchtigen und zwar in Abhängigkeit ihrer affektiven Bedeutung. Störfaktoren mit affektiver Bedeutung stellen unser inneres Aufgabenleistungs-Ziel in Frage und lösen infolgedessen eine Tätigkeitsregulation aus. In Verbindung mit Ergebnissen aus der Aufmerksamkeitsforschung sind unsere Resultate dahingehend zu deuten, dass der investierte Aufwand Aufmerksamkeit darstellt und zusammen mit der notwendigen Aufmerksamkeits-Regulierung zur Beanspruchung führt. Die Beanspruchung ist demzufolge als Summe der investierten Aufmerksamkeit, sowie ihrer Kontrolle zu verstehen. Aufmerksamkeit kann als emotional/motivational gesteuerte Neuromodulation verstanden werden. Geistige Arbeit ist in der Regel mit einer motorischen Verrichtung verbunden und diese wiederum interagiert mit der mentalen Beanspruchung. Die Trennung zwischen körperlicher und geistiger Arbeit in den Arbeitswissenschaften ist daher nicht aufrechtzuerhalten. Arbeit ist vielmehr als Kontinuum mit unterschiedlich variierenden Anteilen an kognitiven und motorischen Anforderungen zu verstehen.
Es wäre von äusserstem Interesse die ausgefeilten Shift-Experimente zwecks Untersuchung der mentalen Beanspruchung heranzuziehen, insbesondere dort, wo es um die Erforschung von Müdigkeit oder um den Einfluss externer Störfaktoren geht.

9.2 Die Atmung

Insgesamt bildete die Atmung in unseren Untersuchungen die verschiedenen objektiven Anforderungen (Motorik und Aufmerksamkeit) sowie die sub-

jektiven Bewertungen in höchst sensibler Form ab. So bewirkten die übel riechenden Gerüche eine Atemantwort und zwar, wie bei der Leistung, in Abhängigkeit der Reiz-Signifikanz. NH3 löste zudem eine längerfristige Verkürzung von Ti aus. Minutenventilation (MV), Inhalationsfluss (Vi/Ti) wie Vi differenzierten zwischen den verschiedenen mental-motorischen Aufgaben und covariierten gut mit der subjektiven Beanspruchungs-Einschätzung. Zusammenhänge zwischen Ti und Vi/Ti mit Erregung, sowie Ti, Vi/Ti und Vi mit Valenz bei induzierten Emotionen konnten aufgezeigt werden. Alles in allem zeigt das ermittelte Abbild der mentalen Arbeit in der Atmung viele Facetten und es stellt sich nun die Frage: Was bedeuten diese Facetten im Einzelnen?

9.2.1 Das Verhalten der Zeitparameter

Die meisten Untersuchungen über die Auswirkungen mentaler Arbeit auf Atemparameter zeigten (Allen et al 1986, Caroll et al 1987, Langer et al 1985, Svebak 1982, Turner und Caroll 1985, Turner et al 1983, Wientjes et al 1998, Boiten 1993), dass mentale Arbeit zu einer Verkürzung von Ti und einer Zunahme von Vi/Ti führt, wobei Vi entweder abnimmt oder unverändert bleibt. Dies war auch im Experiment II beim langsamen Tapping und dem Kombitest (Multitest ohne Tracking) der Fall, beim Multitest jedoch nahm zusätzlich Vi zu (Experiment II und Experiment III). Beim Betrachten der verschiedenen gefühlsinduzierenden Bilder (Experiment IV) korrelierte Ti und Vi/Ti mit der Erregung und mit der Valenz und ein signifikanter Einfluss der Persönlichkeitsvariable Extraversion auf Ti konnte aufgezeigt werden.

Gemäss Milic-Emili et al (1981) folgen Veränderungen in den Zeitparametern der Veränderung des zentralen Einatmungsdrive. Die Verkürzung von Ti war bei den unterschiedlichen mental-motorischen Aufgaben nicht signifikant verschieden; doch führten diese diversen Aufgaben bei den Versuchspersonen zu unterschiedlichen subjektiven Einschätzungen der Beanspruchung. Diese Einschätzungen korrelierten mit MV, Vi/Ti und mit Vi. Es scheint, als würde Ti zwar massiv verkürzt (gegenüber den Pausen) aber über alle Auf-

gaben hinweg ungefähr in demselben Mass. Porges und Byrne (1992) folgern aus ihrer Studie zu verschiedenen Aufmerksamkeits-Aufgaben, dass eine Zunahme der Atmungsfrequenz mit erhöhter Aufmerksamkeit korreliert zu sein scheint, während eine Abnahme der Atmungsfrequenz wohl ein Indikator für eine nachlassende Aufmerksamkeit in der Ausführungsphase der Aufgabe sei. In Rafferty und Gardener's (1996) Untersuchung variierten die Versuchspersonen mittels eines Feedback-Systems bewusst die Zeitkomponenten der Atmung. Zusätzlich wurde die Zusammensetzung der Atemluft verändert, indem ihr verschieden viel CO2 beigemengt wurde. Ti wie Te konnten breit und über lange Zeit (> 1Std.) variiert werden, die benötigte - chemisch durch CO2 - vorgegebene Minutenventilation wurde über die Anpassung von Vi bewerkstelligt. Das Atemzugvolumen sank dabei jedoch nie unter seinen Ruhewert. Bei aufgezwungenem Keuchen wurde das endexspiratorische Volumen herabgesetzt um das metabolisch benötigte Atemzugvolumen zu erreichen. Diese Untersuchung zeigt deutlich, dass die Zeitkomponenten der Atmung willkürlich breit steuerbar sind. In einer sorgfältig kontrollierten Studie von Gallego und Mitarbeiter (1996) stellten sich 28 Sportler die Vorbereitungsphase für ihren Sport (Judo oder Schwimmen) und die eigentliche Verrichtung (Exercise) vor. Die Atemfrequenz nahm kontinuierlich zu und erwies sich unter beiden Bedingungen als signifikant verschieden von der Ruhephase. Vt nahm nur in der mentalen Vorbereitungsphase zu, nicht aber, als sich die Sportler die Sport-Ausübung direkt vorstellten. Die Autoren interpretierten die Zunahme der Atemfrequenz als Antwort auf eine erhöhte Erregung (arousal). Auch Wuyam et al (1995) kamen zum Schluss, dass körperliche Aktivität, die man sich vorstellt, vor allem die Atemfrequenz beeinflusst, nicht aber das Volumen.

Tatsächlich spricht einiges dafür, dass die Modulation von Ti der Erregung entspricht, indem steigende Erregung Ti verkürzt und abnehmende Erregung Ti verlängert. Die Yerkes-Dodson (1908) Regel besagt, dass die Beziehung zwischen Leistung und Arousal einer inversen U-Kurve folgt, indem die Leistung am besten ist, wenn die Erregung ihr Optimum erreicht. Höchstwahrscheinlich ist die Form und Lage der U-Kurve aufgabenspezifisch und die im Experiment II gestellten Aufgaben weisen ähnliche U-Kurven auf. Da es ja

gemäss der Yerkes-Dodson Regel kontraproduktiv wäre das Arousal über ein Optimum hinaus zu steigern und da das Optimum bei den verschiedenen Aufgaben wie angenommen ähnlich gelagert ist, sollte Ti nicht zwischen den Aufgaben differenzieren – wie wir es in der Untersuchung II gefunden haben-. Es wird hier postuliert, dass Arousal Ti moduliert und dass die Feinanpassung der Atmung an die metabolischen Bedürfnisse sowie an die Bedürfnisse höherer Kontrollzentren bei einem gegebenen optimalen Ti über Vi erfolgt. Das bedeutet, dass sich die Beanspruchung durch mentale Arbeit im Inspirationsfluss und bei zunehmender Beanspruchung vor allem im gesteigerten Inspirationsvolumen Vi abbildet. Dies könnte auch erklären, warum einige Studien, welche die Atmungsfrequenz als Indikator für die mentale Beanspruchung heranzogen, keinen Zusammenhang zwischen dem Schwierigkeitsgrad der gestellten Aufgaben und der Atemfrequenz bei deren Lösung fanden (z.B. Veltman und Gaillard 1998).

Die Untersuchung über die Auswirkung induzierter Gefühle auf die Atmung zeigt den Zusammenhang zwischen Ti und Erregung klar und deutlich auf: Je höher die Erregung eingestuft wurde, desto stärker verkürzte sich die Inspirationszeit. Und dieser Zusammenhang war auch auf der individuellen Ebene sehr deutlich.

Die Gefühlsuntersuchung zeigte zudem deutlich auf, dass Persönlichkeitsmerkmale – Extraversion / Introversion – das Umgehen mit Ti mitbestimmen. Die Extravertierten verlängerten Ti unter tiefem Arousal, wogegen die Neutralen und Introvertierten Ti schon bei tiefem Arousal bereits verkürzten. Was den Inspirationsfluss und die subjektive Einschätzung der Erregung betrifft, unterschieden sich die verschiedenen Persönlichkeitstypen allerdings nicht voneinander. Die Extravertierten verkürzten mit zunehmendem Arousal Ti ebenfalls, die generelle Richtung der Abhängigkeit von Ti mit Erregung war gleich, wenn auch auf einem anderen Niveau (Shift). Eine Verlängerung von Ti haben wir auch bei der Atemantwort auf die übel riechenden Gerüche gefunden – und zwar im Zusammenhang mit einem erniedrigten Drive. Obwohl eine Aktivierung stattfindet, scheinen die extravertierten Personen ihre Atemantwort auf den äusseren Stimulus und dessen Verarbeitung auszurichten, während die Neutralen und Introvertierten Ti auf ihre ‚innere' Erregung

ausrichten. Lehmann (1914) stiess auf ein ähnliches Verhalten, wie wir es bei den Extravertierten festgestellt haben, wenn sich die Versuchspersonen vollständig einem Affekt hingaben. Dies entspricht der Beschreibung der Typen nach C.G Jung (1960), der festhält, dass Extravertierte ihr Erleben und Handeln vorrangig an der Aussenwelt orientieren und sich den äusseren Reizen – jedenfalls kurzfristig – völlig hingeben würden (infolge einer herabgesetzten Hemmungskontrolle).

9.2.1.1 Atemreflexe werden über Ti ausgedrückt

Die direkte Atemantwort auf die schlechten Gerüche (Experiment III) war gekennzeichnet durch eine Abnahme des Inhalationsflusses Vi/Ti, wobei v.a. Ti zunahm. Dies deckt sich mit den Befunden von Milic-Emili (1981), dass Reflexe sich primär in Ti ausdrücken. Zusätzlich nahm Ti über die gesamte Dauer der NH3 Exposition ab. NH3 wird überwiegend durch den N. Trigeminus wahrgenommen. Der Nukleus ambiguus erhält sensorischen Input vom N. Trigeminus und spielt eine wichtige Rolle für den Atemrhythmus (Porges 1994). Die Abnahme von Ti auf Grund der NH3 Exposition könnte auf diese wichtige Verbindung zurückzuführen sein. Auf der anderen Seite werden trigeminal wahrgenommene Substanzen als Reizsubstanzen bezeichnet, da sie ein stechendes, reizendes, kühlendes oder brennendes Gefühl auslösen. Solch eine Wahrnehmung kommt näher an eine Schmerzwahrnehmung heran als an eine reine Geruchswahrnehmung über den N. Olfaktorius und bedeutet an sich eine stärkere Bedrohung des Individuums. Die Verkürzung von Ti – schnelleres Einatmen – könnte daher einer Abwehr- oder Defense-Reaktion entsprechen. NH3 löste die Orientierungsreaktion – Zunahme von Ti – zuverlässiger aus als H2S und enthält sehr wahrscheinlich auch eine stärkere affektive Bedrohungskomponente. Wir ziehen daher den Schluss, dass NH3 sowohl eine Orientierungsreaktion als auch eine nachfolgende, verzögerte, dosisabhängige Abwehrreaktion auslöste. Eine Abwehrreaktion ist nun aber per definitionem mit einem erhöhten Arousal verbunden, was wiederum darauf hinweist, dass Ti und Arousal stark miteinander verknüpft sind.

9.2.1.2 Ti und Valenz

Die gefundenen Beziehungen zwischen Ti und Valenz, Dominanz sowie Arousal im Experiment IV hingegen bedeutet, dass das Timing der Atmung unter dem Einfluss verschiedener Hirnstrukturen stehen muss. Das Timing des Atemzyklus steht gemäss Milic-Emili (1982) unter Kontrolle verschiedener nicht-metabolischer Reflexe, motorische Programme und höhere Einflüsse. Durch die Untersuchung neuroanatomischer Zentren, die mit laryngaler, pulmonalen und kardialer Funktionen im Zusammenhang stehen, kamen Richter und Spyer (1990) zum Schluss, dass der Nucleus ambiguus (einer der Vaguskerne) wesentlich zum respiratorischen Rhythmus beiträgt. Sie propagierten, dass ein gemeinsamer kardiorespiratorischer Oszillator existiert, der die Herzaktion und Atmung koordiniert. In ihrem Model ist der Atmungsrhythmus abhängig von der Interaktion zwischen dem Nucleus traktus solitarius und dem Nukleus ambiguus. Die Gruppe um Harper berichtete über verschiedene Nuklei im Hirnstamm, Zwischenhirn und Grosshirn, die einen Atmungsrhythmus aufweisen; im Periaquaedukt-Grau (Ni et al 1990) im zentralen Nukleus der Amygdala (Frysinger et al 1988), Hypocampus (Frysinger und Harper 1989) und dem anterioren Cingulum (Frysinger und Harper 1986). Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass Stimulation der Amygdala den respiratorischen Zyklus beeinflussen kann (Harper et al 1984). Man weiss, dass die Amygdala eine wesentliche Struktur in der Vermittlung von emotionalem Verhalten darstellt (Aggleton 1992). Sensorische Stimuli werden über den Thalamus an die Amygdala weitergeleitet. Die Stimulierung und die Entfernung der Amygdala verändern das affektive und motivationale Verhalten beim Tier und Menschen (Aggleton und Mishkin 1986, Everitt und Robbins 1992, Ursin et al 1981). Der Hypokampus hingegen spielt eine wichtige Rolle beim Lernen (Wilson und McNaughton 1994). Der Gyrus cinguli ist die vermittelnde Struktur zwischen Neokortex und Hypothalmus. Der respiratorische Rhythmus ist also sehr stark mit Hirnstrukturen verknüpft, die mit Emotionen und sensorischer Wahrnehmung assoziiert sind.

9.2.1.3 Beanspruchung und Valenz: ein Paradox?

In den verschiedenen Versuchen stiessen wir immer wieder auf einen klaren, konsistenten Zusammenhang zwischen Ti und Erregung. Zudem fanden

wir bei den induzierten Gefühlen (Experiment IV) sowie im Geruchsexperiment (III) auch einen Zusammenhang zwischen emotionaler Stimulus-Valenz und Ti. Wir konnten aber keine Beziehung zwischen Ti und der Beanspruchung im Experiment II finden. Wie ist das erklärbar?

Neubeck (1992) kommt aufgrund von Beobachtungen und Merkübungen zur Hypothese, dass Ti die Aufnahme und das Wahrnehmen von Umweltreizen fördert: ‚in der Einatmung wird die Umwelt beobachtet und aufgenommen, um die richtigen Objekte für die eignene Bedürfnisse zu finden...'. Die Verlängerung von Ti unter den negativen Gerüchen deutet ebenfalls darauf hin, dass Ti im Zusammenhang mit Reizwahrnehmung und Verarbeitung steht. Harver und Kotses (1987) beobachteten, dass, wenn ein Lärm Stimulus in der Inspirationsphase appliziert wurde, verlängerte und beschleunigte sich die Inspiration, wenn er in der Exspiration gegeben wurde, resultierte eine Umschaltung, indem die Ausatmung abgebrochen wurde und den Weg frei machte für eine Einatmung. Wie bei den Geruchsstimuli aufgezeigt wurde, ist die temporale Verarbeitung von Reizen äusserst wesentlich für eine richtige Einschätzung (appraisal). Durch die Verlängerung von Ti verlängert sich erstens die Präsentation des Geruchsstimulus und zweitens kann ein zeitliches Muster des Aktivierungsablaufes miterfasst werden. Dies gilt sicher auch für die Erfassung von Bewegung und für die Worterkennung oder Lautfolgen-Zuordnung (Lorig 1999, Spitzer 1999). Die Verlängerung der Einatmung kann, bildlich gesprochen, dazu dienen die zeitliche Reizauflösung zu vergrössern und erleichtert dadurch die Stimuluserkennung und -Einordnung.

Auf der anderen Seite ist bekannt, dass sympathische wie auch vagale Motoneurone während der Ausatmung sensibler auf Stimulierung reagieren als während der Einatmung (Eckberg 1995). Vor allem im mittleren Aktivierungsbereich besitzt die Atmungskurve einen modellierenden Einfluss auf die sympathischen und parasympathischen Motoneurone, indem ihre Aktivität während der Exspiration verstärkt wird. Wir würden instinktiv nie während der Einatmung auf den ‚Hau-den-Lukas' hauen. Motorische Aktivitäten, besonders solche, die grosse Genauigkeit oder einen Kraftaufwand benötigen, werden mit der Ausatmung koordiniert. Da die Ausatmung generell passiv ist

und sich die Einatmungsmuskulatur dabei entspannt, kann es energetisch sinnvoller sein muskuläre Verrichtungen in die Ausatmung zu legen.

Veränderungen in der Reaktionszeit als Funktion des Atmungszyklus zeigten aber widersprüchliche Ergebnisse. Buchsbaum und Callaway (1965) berichteten, dass die Reaktionszeit während der Inspiration verlängert wurde. Sie führten dies auf den inhibitorischen Effekt der Inspiration auf die vagale Aktivität zurück. Im Gegensatz dazu fanden Beh und Nix-James (1974), dass die Reaktionszeit kürzer war während Inspiration als während Exspiration und erklärten dies mit der höheren muskulären Anspannung während der Inspiration. Gallego et al (1991) untersuchten die Reaktionszeit während spontaner Atmung und kontrollierter Atmung. Während spontaner Atmung hatte der Zeitpunkt der Stimulus-Applikation keinen Einfluss auf die Reaktionszeit. Bei willentlich kontrollierter Einatmungszeit aber wurde generell eine Verlängerung der Reaktionszeit gefunden, wobei die Verlängerung am deutlichsten war, wenn der Stimulus genau in die Phase zwischen In- und Exspiration fiel. Die Autoren erklären die Befunde damit, dass die Aufmerksamkeit zwischen Atemkontrolle und Reaktionsaufgabe geteilt wurde. Es könnte aber auch argumentiert werden, dass jede Aufgabe ein optimales Adjustieren der Atmung beinhaltet, kann diese nicht erfüllt werden, wird die Leistung schlechter. Zusätzlich setzt sich die Reaktionszeit aus mehreren Komponenten zusammen: Stimulus Wahrnehmung, Reaktionsvorbereitung und -Durchführung. Da mit der Messung der Reaktionszeit diese Komponenten nicht unterschieden werden können, ist auch die Frage nach einer Erleichterung einer der Komponenten durch den Atmungszustand nicht beantwortbar. Zur Untersuchung des Einflusses des Atemzyklus auf die Stimulus-Selektion ist eine Reaktionsaufgabe deshalb ungeeignet und ein anderes Untersuchungsparadigma müsste hier angewendet werden (z.B. Priming). Gemäss Easterbrook (1958) korreliert die Merkmalselektion mit der Erregung. Der vorgefundene Shift in der Beziehung zwischen Ti und Arousal bei den Extravertierten untermauert ebenfalls den Zusammenhang zwischen Ti und der Merkmalselektion und zeigt auf, wie Persönlichkeitsmerkmale in die Stimulus-Selektions-Beziehung einfliessen. Da alle mentalen Aufgaben Stimulus-Selektion sowie Handlungsselektion und Handlungsverrichtung verlangen

wird hier postuliert, dass die Atmungszeiten primär an die Aufgabenanforderungen angepasst werden, insbesondere da die primäre Motivation der Versuchspersonen darin bestand die Aufgabe zu erfüllen.

Im Gegensatz dazu verlangte das Bilderanschauen keine Reaktion, die Versuchspersonen hatten nur zu Schauen. Der Einfluss der Stimulus-Valenz auf Ti konnte nur beim Bilderanschauen sichtbar werden, da dabei die Atmungszeiten nicht an eine Aufgabe gebunden waren. Die Beanspruchung aber (insoweit Beanspruchung überhaupt zu Valenzverschiebungen führt) kann, wegen dem Gebundensein der Atmungszeit an die Aufgabe, nicht durch diesen Parameter ausgedrückt werden.

Der respiratorische Rhythmus spiegelt nicht nur die Erregung, sondern wird an die Aufgabenanforderung im Sinne einer Optimierung der Stimulusselektion (Ti) und Handlung (Te) angepasst. Bei nicht-aufgaben- gebunden Atmungszeiten aber kann die Stimulus-Valenz Ti modifizieren. Der respiratorische Rhythmus wird auch in anderen höheren kortikalen Zentren gefunden und es stellt sich die Frage ob die respiratorische Oszillation nicht eine generelle Zeitgeberfunktion im Umgang des Menschen mit seiner Umwelt darstellt.

9.2.2 Das Inspirationsvolumen (Vi)

Im Gegensatz zu Ti differenziert der Inhalationsfluss (Vi/Ti), sowie die Minutenventilation (MV) sehr klar zwischen den verschiedenen Aufgaben im Versuch II. Die Veränderung des Vi/Ti und der MV (Vi/Ttot) muss also über den zweiten Parameter, nämlich über Vi variiert worden sein. Extraversion beeinflusste nicht nur das Verhalten von Ti, sondern ebenso Vi, wodurch der Inhalationsfluss Vi/Ti nicht unterschiedlich war bei In- und Extravertierten. Unsere Resultate suggerieren, dass Vi verwendet wird, um bei konstant gehaltenem, optimierten Ti, die dadurch noch nicht abgedeckten, metabolischen Anforderungen des Organismus zu erfüllen. Zu den metabolischen Anforderungen gehören sicher die Anforderungen der involvierten Muskulatur sowie die der

Tätigkeitsregulation, die wie argumentiert eine Aufmerksamkeitsregulation beinhaltet.

Wenn Atemgas mit dem nicht riechenden CO2 angereichert wird, so bewirkt dies bei den meisten Versuchspersonen eine Zunahme der Atmungstiefe (Haldane et al 1919). Die arbeitende Muskulatur produziert CO2 und dieses wiederum vertieft Vi. Aber das langsame Tapping und der Kombi-Test (im Experiment II) waren auch mit einer motorischen Verrichtung verknüpft und dennoch nahm Vi unter diesen Bedingungen nicht zu. Das langsame Tapping bewirkte eine stärkere Aktivierung im EMG als der Multitest, Vi nahm jedoch beim langsamen Tapping deutlich ab, blieb hingegen beim Multitest konstant. Die festgestellte Steigerung der MV entspricht auch in bezug auf die Grössenordnung ganz und gar nicht dem metabolischen Bedarf. So nahm Vi bei gesunden Probanden bei einer ca. 40-prozentigen Anspannung der gesamten Armmuskulatur überhaupt nicht und bei einer Anspannung von 80% bloss um 5% zu (Ritz 1996). Der Tracking Test bewirkte eine 13% Zunahme in Vi in der Untersuchung II. Also kann nur ein kleiner Anteil der Vi-Modulation auf die effektive motorische Verrichtung zurückgeführt werden. Vi zeigte einen klaren Zusammenhang mit der Aktivierung des dominanten aufgaben-irrelevanten M. Trapezius (Experiment II). Die induzierte Anspannung vertiefte Vi.

Im Gefühlsexperiment (Untersuchung IV) zeigte sich bei Vi eine Abhängigkeit in quadratischer Form von der Valenz- und Dominanzdimension: Vi war bei tiefer Valenz hoch, aber auch wenn die betreffende Person das Gefühl hatte, die Situation sei überwältigend. Im valenz- und dominanzneutralen Bereich jedoch lag Vi tiefer um bei stark positiver Valenz wieder etwas zuzunehmen, wobei verschiedene Vi-Valenz-Beziehungen festgestellt wurden. Das Verhalten von Vi könnte auch im Gefühlsexperiment im Zusammenhang mit muskulärer Anspannung, nämlich der mimischen Muskulatur, stehen. So zeigten Greenwald et al (1979) sowie Bradley et al (1993), dass die Aktivität des M. corrugators in negativ linearer Abhängigkeit mit der Valenz steht, der M. zygomaticus in quadratischer Abhängigkeit mit der Valenz, indem die Aktivierung des Zygomaticus bei stark positiver Valenz zunahm (z.B. Lächeln). Das Verhalten von Vi im Gefühlsexperiment kann, in Anbetracht des gefun-

den Zusammenhanges von Vi mit aufgaben-irrelevanter Muskulatur, durch die Aktivierung der mimischen Muskulatur erklärt werden. Gemäss Porges (1994) wird die mimische Muskulatur stark durch das vegetative Nervensystem geprägt. Ritz (1996) fand einen Zusammenhang zwischen mimischer Muskulatur und Vi bei seinen gesunden Versuchspersonen, nicht aber bei Asthmatikern.

Wientjes (1998) wies nach, dass die Grösse von Vi mit motivationalen Faktoren zusammenhängt und stellte an Hand von pCO2-Messungen fest, dass seine Versuchspersonen beim Ausführen mentaler Aufgaben eine höhere Minutenventilation aufwiesen als dies metabolisch notwendig gewesen wäre. Er interpretierte Vi als Stressindikator. Die Versuchspersonen hyperventilierten (allerdings von klinisch irrelevantem Ausmass) unter der Aufmerksamkeit fordernden Aufgabe. Das Atmzugvolumen (Vi) verhielt sich bei mentaler Arbeit variabler als die Zeitkomponenten (Mador und Tobin 1991). Kopfrechnen, audiovisuelle Stimulation (Fernsehen) und im Schädlichkeits-Bereich liegende Lärmexposition bewirkten eine Zunahme der Minutenventilation und von Vi/Ti. Die Zunahme von MV wurde bei den Rechenübungen und der audiovisuellen Stimulation einzig durch die Erhöhung der Frequenz erreicht, Lärmexposition dagegen erhöhte auch Vi. Aus unseren Untersuchungen resultierte ebenfalls, dass Vi zunimmt, und zwar sowohl bei erhöhter subjektiver als auch bei zunehmender objektiver (EMG der aufgaben-irrelevanten Muskulatur) Einschätzung der Beanspruchung. Variationen der Tiefe bei schneller Atmung korrespondieren gemäss Boiten et al (1994) mit verschiedenen Punkten auf einem Inhibitions-Exzitations-Kontinuum; Oberflächliches schnelles Atmen entspricht üblicherweise Zuständen konzentrierter Aufmerksamkeit und kann über Einflüsse, die im Zusammenhang mit Kontrollverlust oder emotionaler Aufregung stehen, modifiziert werden. Kontrolle steht immer in einem Zusammenhang mit Regulation. Die Auseinandersetzung mit einer Aufgabe verläuft nach Richter und Hacker (1997) in einer zyklischen Abfolge von Destabilisierungs- und Restabilisierungsbemühungen. Die Destabilisierung enthält einerseits beanspruchungsbedingt ablaufende reflektorischen Anteile und andererseits zielgerichtete, zum Zwecke der Restabilisierung eingesetzte, kostenpflichtige Anteile. Die Beziehung zwi-

schen Vi und der affektiven Dimension Valenz wurde nur in den ersten 15 Sekunden gefunden, also gerade nach Beginn der Bildserie, wo primäre Einschätzungen und Vergleich, sowie darauffolgende Regulationsvorgänge stattfinden. Regulationsvorgänge sind mit einem metabolischen Bedarf verknüpft.

Zusammengenommen wird postuliert, dass Vi die situationale metabolische Beanspruchung, zusammengesetzt aus motorischen, emotionalen und tätigkeitsregulatorischen Anteilen, repräsentiert.

9.2.2.1 Fazit

Gemäss dem hier vorgestellten Modell ist Ti ein Mass der Aufmerksamkeit und Vi ein Mass der benötigten metabolischen Anforderungen. Infolgedessen müsste Vi/Ti sowie MV (Vi/Ttot) Summenparameter darstellen und ein Mass des energetischen Aufwandes darstellen, was die gefundenen Beziehungen mit den subjektiven Beanspruchungsparametern aber auch mit den Emotionsdimensionen tatsächlich bestätigen. Es ist zu beachten, dass ein erhöhtes Vi/Ti theoretisch nicht unbedingt eine erhöhte MV bewirken muss. Das Verhalten der Exspirationszeit und der Pausen spielen eine wesentliche Rolle ob ein erhöhtes Vi/Ti die MV erhöht. Unsere Vorstellungen gehen dahin, dass je nach Aufmerksamkeitsanforderungen der Aufgabenstellung primär Ti auf ein bestimmtes Mass verkürzt wird und in Abhängigkeit des zusätzlichen motorischen und emotionalen metabolischen Bedarfes Vi die Feinanpassung vornimmt. Es ist also das Zusammenspiel der Atmungszeiten und Vi, dass den Gesamtaufwand bestimmt. Würde nur Vi als Indikator der Beanspruchung im Experiment II analysiert, würde die langsame Tapping- Aufgabe und der Multi-Test zu keiner Beanspruchung führen. Würden nur die Atmungszeiten analysiert, könnten die Aufgaben nicht unterschieden werden. Auch beim Betrachten der Herzrate fällt auf, dass der langsame Tapping Test eine Abnahme des Pulses zeigt. Die subjektiven Einschätzungen zeigen aber, dass auch diese Aufgabe eine leichte Beanspruchung induzierte. Das würde bedeuten, dass die Beanspruchung nicht alleine eine Funktion der Aufmerksamkeitsregulation, sondern eine Funktion der primär

investierten Aufmerksamkeit sowie ihrer Regulation darstellt. Der Inspirationsfluss und die Minutenventilation repräsentieren diesen Gesamtaufwand und sind am deutlichsten mit der Beanspruchung verknüpft. Ti und Vi aber geben Hinweise auf die situationalen Ursprünge der Beanspruchung.

9.3 Methodik

Insgesamt erwies sich die entwickelte Atemmustermessumgebung RespiG als höchst zufriedenstellend für Laborversuche. Sie gewährleistet sicheres und zuverlässiges Handhaben der Daten, automatisiertes Schneiden der Datenfiles anhand der gesetzten Marker und damit auch ein wirklich zeitgleiches Analysieren der verschiedenen physiologischen Parameter (z.B. EMG, EKG). Zusätzlich wird eine Standardisierung der Volumenkalibration und ihrer Kontrolle garantiert. Eine Weiterentwicklung für Feldversuche – die es ermöglichen würde, dass auch Bewegungsänderungen erfasst und damit das Volumen richtig korrigiert und ausgewertet werden könnte - ist ein zwingend notwendiger Schritt um das vielversprechende Abbild der psychomentalen Beanspruchung in der Atmung auch unter realen Bedingungen zu prüfen. Das heutige System wäre ferner in dem Sinne zu erweitern, dass nicht nur die zeitlichen Abläufe von Vi, sondern auch von Ti und Vi/Ti geplottet werden könnten. Diese zeitlichen Plots erwiesen sich als sehr hilfreich bei der Wahl der Auswertung und machten uns schon rein optisch auf gewisse Phänomene aufmerksam. Zur Zeit lässt sich aus der Atemkurve nicht die reine Exspirationszeit (Te) ermitteln, sondern eigentlich Te + Pe (Pe = Exspirationspause). Diese Pausen sind zwar im Kurvenausdruck manuell leicht überprüfbar, sollten aber dennoch in das Standard-Analyse-Verfahren integriert werden. Te ist ein häufig vernachlässigter Parameter. Das Verhältnis Ti/Te könnte wie oben argumentiert, wesentliche Aufgabenanforderungen in bezug auf Stimuluswahrnehmung und Handlung aufzeigen.

Was die Aussagekraft der Versuche am meisten einengt, ist die teilweise recht beschränkte Anzahl von Versuchspersonen. Eine grössere Anzahl von Probanden würde eine detailliertere Analyse der Daten erlauben und die

sich abzeichnenden Tendenzen könnten entweder bestätigt oder verworfen werden. An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, dass sämtliche Experimente ohne externe finanzielle Unterstützung durchgeführt wurden. Der personelle und zeitliche Einsatz musste demnach in engen Grenzen gehalten werden und liess ein Ausweiten des Probanden-Kollektives nicht zu.

Die Experimente wurden gemäss den Fragestellungen entworfen und sind insgesamt als gelungen zu betrachten. Allerdings ist das Experiment, das Aufschluss über die Auswirkungen der induzierten Gefühle auf die Atmung geben sollte, im Bereich der Gefühlsinduktion nicht ganz zufriedenstellend. Es wäre von Vorteil gewesen, den Versuchspersonen nicht fünf Bilder unmittelbar hintereinander, sondern jeweils nur je ein Bild zu präsentieren und ihnen dafür 30 Sekunden Betrachtungszeit einzuräumen – statt bloss sechs. Die gewählte Abfolge von 5 Bildern pro Bildserie – wenn auch mit ganz ähnlichen ‚Gefühlswerten' – und einer Betrachtungszeit von 6 Sekunden stellt eine Abfolge von gleichwertigen, aber immer neuen Reizen dar. Dieser Neuigkeitscharakter ist im nachhinein als Störfaktor zu werten; da wir mehr an den tonischen oder strategischen Veränderungen interessiert waren. Wir hätten Langweile oder innere Abwendung während einer 30 Sekunden dauernden Bildpräsentation in Kauf nehmen sollen. Nichtsdestotrotz sind die Ergebnisse der Gefühlsstudie durchaus aufschlussreich und die Studie dürfte wohl nicht zuletzt wegen ihrer Unzulänglichkeiten zu weiteren Untersuchungen anregen.

9.4 Praktische Empfehlungen

Die vorgestellten Untersuchungen waren nicht primär praxisorientiert. Dennoch lassen sich einige wenige praktische Empfehlungen festhalten.

- Aufgabengestaltung: Wenn eine Reaktions-Aufgabe im Rahmen einer Mehrfachverrichtung sehr wichtig ist, so ist der optische Stimulus nicht zentral, sondern peripher und mit einem Bewegungsanteil versehen zu platzieren. Periphere sich bewegende Stimuli werden bei einer Ablenkung eventuell langsamer verarbeitet, doch sie werden verarbeitet.

- Aufgabengestaltung: Wenn eine wichtige Aufgabe vom Kurzzeitgedächtnis abhängig ist - wie dies bei der Erkennung der Farbsequenz der Fall war - so ist dieser Aufgabe die Ziel-Priorität einzuräumen, damit sie gegen Ablenkungen gefeit ist. Als Zweitaufgabe wird eine solche, vom Kurzzeitgedächtnis abhängige Aufgabe, allzu sehr durch Umwelteinflüsse oder auch durch eine Zweitaufgabe beeinträchtigt.

- Arbeitsgestaltung: Aufgaben, die kontinuierlich Aufmerksamkeit und permanente motorische Zielkorrektur verlangen (wie das Tracking) sind von Anspannung aufgaben-irrelevanter Muskulatur begleitet und sind beanspruchend. Solche Aufgaben sollten durch vermehrte Pausen oder durch Aufgabenwechsel entschärft werden.

- Arbeitsgestaltung: Generell sollte eine Aufgabe so gestaltet werden, dass sie kurzfristig unterbrochen werden kann – damit der Proband einen externen Reiz oder eine Störung zu verarbeiten vermag – ohne dass die Leistung darunter leidet.

- Atemmustererfassung: Wenn das Atemmuster als Indikator für die Beanspruchung herangezogen wird, muss eine adäquate Volumen-Erfassung gewährleistet sein.

9.5 Ausblick

Die moderate NH3-Exposition bewirkte eine Veränderung des Atemmusters. Eine solche Veränderung muss zwangsläufig auch eine Auswirkung auf die Ablagerung von Partikeln haben. Diese Ablagerung ist eine komplexe Funktion von Geschwindigkeit, Grösse und Verweildauer und hängt stark vom Atemzugvolumen, der Frequenz und der Inspirationszeit ab (Heyder et al 1986). Dieselbe Minutenventilation könnte somit – würde sie durch verschiedene Atemmuster erreicht – Partikelablagerungen von unterschiedlicher Grösse nach sich ziehen. Ebenso dürften Volumenveränderungen, insbesondere bei einer Veränderung der funktionellen Residualkapazität, die Depositionsfraktion sowie den Ort der Deposition beeinflussen.

Die Bedeutung der Atmung in Bezug auf Krankheits- oder Stress-Induktion wurde in der vorliegenden Arbeit bewusst weggelassen. Es sei hier nur kurz auf die wesentlichen Publikationen verwiesen: Atmung und Induktion von Krankheit: Gardener 1996, Wientjes 1993, Grossman und Wientjes 1989, Bass und Gardener 1985, Grossmann 1983, Fokkema 1999. Atemmusterveränderungen durch Krankheit: Tobin et al 1983. Atmung und Gesellschaft: Neubeck 1992, Intervention: Dixhoorn 1998. Vor allem im arbeitsmedizinisch wichtigen Bereich der Beziehung zwischen Krankheit – Atmung – Wohlbefinden sind weiterführende Untersuchungen notwendig, insbesondere bietet sich die Atmung, da sie willkürlich steuerbar ist, als Interventionsinstrument an.

Mit Ausnahme der wenigen Frequenz- und Minutenventilationserfassungen durch Ergospirometrie hat die Atemmustererfassung noch keinen Eingang in die arbeits- und umweltmedizinische Forschung gefunden. Doch gerade in Hinsicht auf die Untersuchung der Aufnahme und Auswirkungen von Noxen verspricht das Erfassen von Atemmustern Aufschluss über wichtige modulierende Effektfaktoren. Wie gezeigt werden konnte, genügten bereits minimale Gas-Konzentrationen um das Atemmuster zu verändern. Dieses stellt demnach einen höchst sensiblen Parameter dar um die Einflüsse luftgetragener Stoffe zu untersuchen.

Der Einbezug von sprachlichen Äusserungen in die Atmungsuntersuchung dürfte ein weiterer höchst aufschlussreicher Schritt in der Untersuchung der Beanspruchung darstellen. Sprechen ist unser Hauptkommunikationsmittel. In der Art und Weise wie die Atmung für das Sprechen eingesetzt wird, v.a. auch im Zusammenhang mit phonetischen Analysen wird neue Anhaltspunkte für das Verständnis der Beanspruchungsreaktionen bringen.

Das Atemmuster hat sich in den präsentierten Untersuchungen auch als viel versprechender Indikator der Beanspruchung erwiesen. Es ist an der Zeit die Erfassungsmethoden feldtauglich zu machen um die Beanspruchung von Menschen an realen Arbeitsplätzen zu erfassen und die postulierten Zusammenhänge zu überprüfen.

10 Literaturnachweis

Aggleton, J.P. and Mishkin M. (1986). The amygdala: Sensory gateway to the emotions. In R. Plutchik, H. Kellerman (Eds) *Emotion: theory, research and experience* (Vol 3) New York, Academic press

Aggleton JP (1992) *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction*. New York: Wiley

Allen M.T. and Crowell M.D. (1989) Patterns of autonomic response during laboratory stressors. *Psychophysiology* 23, 532-541

Allen M.T., Sherwood A., Obrist P.A. (1986) Interactions of respiratory and cardiovascular adjustments to behavioral stressors. *Psychophysiology* 23: 532-541

Allport DA, Antonis B, Reynolds P (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypotheses. *Quaterly J Experimental Psychology*, 24: 25-35

Allport DA (1987) Selection for action: some behavioural and neurophysiological considerations of attention and action. In H Heuer, AF Sanders (Eds) *Perspectives on perception and action*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc.

Allport DA, Styles EA, Hseih S (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umilta, M Moscovitch (Eds) *Attention and performance XV:Conscious and nonconscious information processing.* Cambridge, MA: MIT Press

Althaus M., Mulder L. J. M, Mulder G., Van Roon A. M., Minderaa R. B. (1998) Influence of respiratory activity on the cardiac response pattern to mental effort. *Psychophysiology*, 35, 420-30.

Ancoli S. and Kamiya J. (1979) Respiratory patterns during emotional expression. *Biofeedback Self-Regulation* 4: 242

Ancoli S., Kamiya J., Ekman P. (1980) Psychophysiological differentiation of positive and negative affects. *Biofeedback Self-Regulation* 5, 356-357

Artaud A. (1964) *Le theatre et son double*. Paris, Gallimard

Askanazi J, Silverberg P, Hyman A, Foster R, Yaremchuk M, Kinney J. (1978) Effects of the mask and mouthpiece plus noseclips on spontaneous breathing pattern. *Critical Care Medecine* 6:143-146

Averill J.R. (1969) Autonomic response patterns during sadness and mirth. *Psychophysiology* 5, 399-414

Ax A.F. (1953) The physiological differentiation between fear and anger in humans. *Psychosomatic Medecine* 15, 433-442

Babb TG, Rodarte JR (1991) Lung volumes during low-intensity steady state cycling *J Appl Physiol* 70(2):934-937

Baddeley AD (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press

Baddeley, A.D. (1972). Selective Attention and performance in dangerous environments. *British Journal of Psychology, 63*, 537-546,

Barreto A, Chavis K, Morgan K and Walker J (1998) Rationale and procedures for pre- and post-session calibration of Respitrace“, Prepared Jan. 98 (walkerj@rjrt.com) of RJRT.

Barry R. J. (1982) Novelty and significance effects in the fraction of phasic OR measures: a synthesis with traditional OR theory. *Psychophysiology*, 19, 28-35.

Bartenwerfer HG (1969). Einige praktische Konsequenzen aus der Aktivierungstheorie. *Zeitschr. Exper. Angew. Psychologie* 16:195-222

Bass C. and Gardener W. (1985) Emotional influences on breathing and breathlessness. *J Psychosomatic Res*, 29, 599-609

Bechbache R.R., Chow H.H.K., Duffin J., Orsini E.C., (1979) The effects of hypercapnia, hypoxia exercise and anxiety on the pattern of breathing in man. *J. Physiol. (Lond.)* 291, 285 – 300

Bechbache RR, Duffin J. The entrainment of breathing frequency by exercise rhythm *J Physiol* 272:553-561, 1977

Becker P (1995) *Seelische Gesundheit und Verhaltenskontrolle. Eine integrative Persönlichkeitstheorie und ihre klinische Anwendung.* Göttingen: Hogrefe

Beh HC, Nix-James DR (1974) The relationship between respiration phase and reaction time. *Psychophysiology* 11: 400-402

Ben-Shakhar G., Gati I., Bassat N., Sniper G. (2000) Orienting response reinstatement and dishabituation: Effects of substituting, adding, and deleting components of non-significant stimuli. *Psychophysiology* 37: 102-110

Ben-Shakhar, G., Gati, I., Salamon, N. (1995). Generalization of the orienting response to significant stimuli: The roles of common and distinctive stimulus components. *Psychophysiology*, 32, 36-42

Berglund B, Berglund U, Ekman G, Engen T. (1971) Individual psychophysical functions for twenty-eight odorants. *Perception and Psychophysics*, 9, 379-384

Bernstein A. (1969) The orienting response as a novelty and significance detector: Reply to O'Gorman. *Psychophysiology, 16,* 263-273

Bernstein A. (1979).The orienting response as a novelty and significance detector: Reply to O'Gorman. *Psychophysiology* 16, 263-273

Berntson G. G, Cacioppo J.T., Quigley K.S. (1994) Autonomic cardiac control. I. Estimation and validation from pharmacological blockades. *Psychophysiology,* 31, 572-585.

Birbaumer N und Schmidt RF (1996). Physiologische Psychologie

Blatz W.E. (1925) The cardiac respiratory, and electrical phenomena involved in the emotion of fear. *J Exp Psychol*, 8, 109-132.

Bloch KE, Barandun J, Sackner MA (1995): Effect of Mouthpiece breathing on cardiorespiratory response to intense exercise. *Am J Respir Crit Care Med* 151 1087-92

Bloch S, Lemeignan M, Aguilera-T N.(1991) Specific respiratory patterns distinguish among human basic emotions. *Int J Psychophysiology* 11: 141-154

Blumenthal T. D. (1988) The startle response to acoustic stimuli near startle threshold: Effects of stimulus rise and fall time, duration and intensity. *Psychophysiology,* 25, 607-611.

Blumenthal T. D., Goode C.T. (1991) The startle eyeblink response to low intensity acoustic stimuli*. Psychophysiology*, 28, 296-306.

Boiten F. A. (1998) The effects of emotional behaviour on components of the respiratory cycle. *Biological Psychology* 49, 29 - 51

Boiten F.A. (1993) Component analysis of task related respiratory patterns. *Int. J. Psychophysiology,* 15, 91-104

Boiten F.A., Frijda N.H., Wientjes C.J.E. (1994) Emotions and respiratory patterns: review and critical analysis. *Int. J. Psychophysiology*, 17, 103-128

Boucsein W (1991). Arbeitspsychologische Beanspruchungsforschung heute – eine Herausforderung an die Psychophysiologie. *Psychologische Rundschau* 42: 129-144

Boucsein W, Thum M (1996). Multivariate psychophysiological analysis of stress-strain processes under different break schedules during computer work. In: Fahrenberg J & Myrtek (eds) *Ambulatory assessment. Computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies.* Hagrefe & Huber, Seattle, 305-313

Bradley G.W.,(1977) Control of the breathing pattern. In: Widdicombe J.G. (Ed.) *Respiratory Physiology II*. University Park Press, Baltimore, 185 – 217

Bradley MM, Lang PJ (1994) Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *J Behav Ther Exp. Psychiatry* 25: 49-59

Bradley, M.M., Cuthbert, B.N., Lang, P.J., (1993). Pictures as prepulse: Attention and emotion in startle modification. *Psychophysiology, 30,* 541-545

Bramble DM and Carrier CR. (1983) Running and breathing in mammals. *Science* 219: 251-

Brauchli, P., Rüegg, P.B., Etzweiler, F., Zeier, H.. (1995). Electrocortical and autonomic alteration by administration of a pleasant and unpleasant odor. *Chemical Senses, 20*, 505-515

Broadbent DE (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press

Broadbent, D.E., (1971). *Decision and Stress*, London, Academic Press

Broadbent, D.E., (1979). Human performance in noise. In: C.M. Harris (ed). *Handbook of Noise Control*, 2nd ed. New York, McGraw-Hill, p 17

Bruce EN and Daubenspeck JA (1997), Mechanisms and analysis of Ventilatory Stability. In: DJA Dempsey and Ai Pack, *Regulation of breathing*. New York: Marcel Dekker, p 285-306

Brusil PJ, Waggener TB, Kronauer RE, Gulesian P: (1980) Methods for identifying respiratory oscillations disclose altitude effects. *J Appl Physiol: Respir Environ Exercise Physiol* 48(3): 545-556

Buchsbaum M, Callaway E (1965) Influence of respiratory cycle on simple reaction time. *Perceptual and Motor Skills*, 20: 648-657

Büssing A (1992) *Organisationsstruktur, Tätigkeit und Individuum. Untersuchungen am Beispiel der Pflegetätigkeit.* Göttingen: Hogrefe

Cannon WB (1929) *Bodily changes in pain, fear, and rage*. (2nd edn) New York: Appleton &Co.

Carayon P,Smith MJ, Haims MC (1999) Work organization, job stress, and work-related muskuloskeletal disorders. *Human Factors* 41: 644-663

Carroll D., Turner J. R., Hellawell J. C. (1986) Heart rate and oxygen consumption during active psychological challenge: the effects of level of difficulty. *Psychophysiology,* 23, 174-181.

Carroll D., Turner J.R., Rogers S. (1987) Heart rate and oxygen consumption during mental arithmetic, a video game, and graded static exercise. *Psychophysiology*, 24, 112-118

Carver CS und Scheier MF (1982) Control Theory: a useful conceptual framework of personality-social, clinical and health psychology. *Psychological Bulletin* 92: 1277-1290

Center for the Study of Emotion and Attention [CSEA-NIMH] (1995): The international affective picture system: Digitized photographs. Gainesville, FL: The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.

Cha EJ, Sedlock D, Yamashiro SM, (1987) Changes in lung volume and breathing pattern during exercise and CO2 inhalation in humans *J Appl Physiol* 62:1544-1550

Chadha TS, Watson H, Birch S, Jenouri GA, Schneider AW, Cohn MA, Sackner MA (1982) Validation of respiratory inductive plethysmography using different calibration procedures. *Am Rev Respir Dis* 125: 644-649

CH-Stress-Studie: http://www2.seco-admin.ch/seco/pm.nsf/

Clark F.J. and von Euler C. (1972) On the regulation of depth and rate of breathing. *J. Physiol. (Lond.)* 222, 267-295

Carrier LM, Pashler H (1995) Attentional limits in memory retrieval. *J Exp Psychology*: Learning, Memory and Cognition 21: 1339-1348

Cohn MA, Watson H et al. (1978) A transducer for non-invasive monitoring of respiration. In ISAM 1977 : *Proceedings of the 2nd international symposium on Ambulatory Monitoring of respiration*. Scott FD (Ed). London, Academic Press 119-128

Cohen JD, Servan-Schreiber D (1992) Context, cortex, and dopamine: A connectionist approach to behaviour and biology in schizophrenia. *Psychological Review* 99: 45-77

Corbetta M, Miezin FM, Dobmeyer S, Shulman GL, Petersen SE. (1991) Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: functional anatomy by positron emission tomography. *J Neuroscience* 11: 2383-2402

Crick F (1984). Function of the thalamic reticular complex. *Proc. Nat Acad Science*, USA.81: 4586-4590

Crick F, Koch C (1990). Towards a neurobiological theory of consciousness. *Seminars in the Neurosciences* 2: 263-275

Damasio AR (1990). Synchronous activation in multiple cortical regions: A mechanism for recall. *Seminars in the Neurosciences* 2: 287-296

Damos DL (1991) Dual-task methodology: Some common problems In: DL Damos (ed) *Multiple-task performance*. Taylor & Francis: London, 101-120

Danuser B. (2001) Candidate physiological measures of annoyance from airborne chemicals. *Chemical Senses*, in press.

Douglas NJ, White DP, Pickett CK, Weil HJV, Zwillich LW (1982) Respiration during sleep in normal man. *Thorax* 37:840-844

Degel J, Köster EP,. (1999) Odors: Implicit Memory and Performance effects. *Chemical Senses* 24: 317-325

Dempsey JA and Pack AI (Eds). (1995) *Regulation of breathing*. 2nd Edition, New York: Marcel Dekker

DeTroyer A (1984) Actions of the respiratory muscles on how the chest walls moves in upright man. *Bull Eur Physiopathol Respir* 20:409-413

Deutsch JA, Deutsch D (1963) Attention, some theoretical considerations. *Psychological Review* 70: 80-90

Dickinson A, Dearing MF (1979). Appetitive-aversive interactions and inhibitory processes. In: A Dickinson, RA Broakes (Eds). Mechanisms of learning and motivation. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc. 203-231

Dorsch F (1992) *Psychologisches Wörterbuch* (11.Aufl.) Bern: Huber

Doty, R.L., (1975). Intranasal trigeminal detection of chemical vapors by humans *Physiological Behavior, 14,* 855-859

Doty, R.L., (1995). Intranasal trigeminal chemoreception: Anatomy, Physiology, and Psychophysics. In R.L. Dotty (ed) *Handbook of olfaction and Gustation*, New York, Marcel Dekker, pp 821-834

Driver J, Spence CJ (1994) Spatial synergies between auditory and visual attention. In C Umilta, M Moscovitch (Eds) *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing*. Cambridge, MA: MIT Press

Driver J, Baylis GC (1989) Movement and visual attention: The spotlight metaphor breaks down. *J Exper Psychology: Human Perception and Performance* 15: 448-456

Douglas NJ, White DP, Pickett CK, Weil HJV, Zwillich LW (1982). Respiration during sleep in normal man. *Thorax* 37: 840-844

Dudley DL, Holmes TH, Martin CJ, Ripley HS (1964) Changes in respiration associated with hypnotically induced emotion, pain and exercise. *Psychosom. Med*. 26: 46-57

Duffy, E., (1962). *Activation and Behavior*. New York , Wiley,

Duncan J (1986). Disorganisation of behaviour after frontal lobe damage. *Cognitive Neuropsychology* 3: 271-290

Duncan J (1993). Selection of input and goal in the control of behaviour. In AD Baddeley, L Weiskrantz (Eds) *Attention: Awareness, selection and control*. Oxford: Oxford University Press.

Dunn JD, Cometto-Muniz JE, Cain WS (1982). Nasal reflexes : Reduced sensitivity to Co2 irritation in cigarette smokers. *J App Toxicol* 2: 176-178

Easterbrook JA (1959) The effect of emotion on cue utilization and the organisation of behaviour. *Psychol Review* 66: 183-201

Eckberg D.L. (1995) Respiratory Sinus Arrhythmia and other human cardiovascular neural periodicities. In:J.A. Dempsey, A.I. Pack. *Regulation of Breathing*, Dekker, New York pp 669-740, p 731

Ehrlichmann H., Brown S., Zhu J., Warrenburf S. (1995) Startle reflex modulation during exposure to pleasant and unpleasant odors. *Psychophysiology*, 32, 150-154

Ehrlichmann H., Brown S., Zhu J., Warrenburf S. (1997) Startle reflex modulation by pleasant and unpleasant odors in a between-subjects design. *Psychophysiology*, 34, 726-729

Engen, T.(1982) *The perception of odors*. New York, Academic Press

Epple G, Herz RS (1999) Ambient odors associated to failure influence cognitive performance in children. *Dev Psychobiol* 35: 103-107

Estenne M, DeTroyer A. Respiratory muscle involvement in tetraplegia.(1990) In: Tobin MJ (ed) The respiratory muscles. Lippincott, Philadelphia, pp 360-374

Everitt BJ, Robbins TW (1992) Amygdala-ventral striated interactions and reward related processes. In J Aggleton (Ed) *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory and mental dysfunction*. New York: wiley, 401-429

Eysenck HJ (1970) *The biological basis of personality*. Springfield: Thomas

Eysenck HJ (1981) *A model for personality*. Berlin, Springer

Fagot C, Pashler H (1992) Making two responses to a single object: Implications for the central attentional bottleneck. *J Exper Psychology: Human Perception and Performance,* 18: 1058-1079

FAQ about NIMS products (1998), *http://www.ctech.net/nims/Tech.html*

Feleky A. (1914) The influence of the emotions on respiration. *Psychol. Rev*., 1, 218-241

Fokkema DS (1999) The psychobiology of strained breathing and its cardiovascular implications: A functional review. *Psychophysiology* 36: 164-175

Forster HV, Newton PE, Klein JP, Hamilton LH, Rickaby DA, Kampine JP (1982) Human capability for PaCO2 homeostasis during CO2 breathing. *J Appl Physiol* 52: 287-294

Frankenhäuser M 81986). A psychobiological framework for research on human stress and coping. In HH Appley, R. Trumbell (Eds), *Dynamics of Stress: Physiological, Psychological and social Perspectives*. New York: Plenum Press

Frijda NH (1986) *The emotions*, Cambridge, Cambridge University Press

Frysinger RC, Harper RM (1986). Cardiac and respiratory relationship with neural discharge in the anterior cingulate cortex during sleep-waking states. *Experimental Neurology* 94: 247-263

Frysinger RC, Harper RM (1989) Cardiac and respiratory correlations with unit discharge in human amygdala and hippocampus. Electroencephalography and *Clinical Neurophysiology* 72: 463-470

Frysinger RC, Zhang JX, Harper RM (1988). Cardiovascular and respiratory relationships with neuronal discharge in the central nucleus of the amygdala during sleep-waking states. *Sleep* 11: 317-332

Frankenhaeuser M (1986). A psychobiological framework for research on human stress and coping. In MH Appley and R. Trumbell (Eds). *Dynamics of Stress: Physiological, Psychological and Social Perspectives.* New York, NY: Plenum Press.

Gallego J, Perruchet P, Camus JF (1991) Assessing attentional control of breathing by reaction time. *Psychophysiology* 28: 217-224

Gallego J., Denot-Ledunois S., Vardon G., Perruchet P. (1996) Ventilatory responses to imagined exercise. *Psychophysiology,* 33, 711-719

Gardner WN (1996). The pathophysiology of hyperventilation disorders. *Chest* 109: 516-534

Gautier H., (1969) Effects compares de stimulations respiratoires specifiques et de l'acivite mentale sur la forme du spirogramme de Chomme. *J. Physiol. (Paris)* 61, 31 – 44, 1969

Gilbert AN, Knasko SC, Sabini J. (1997) Sex differences in task performance associated with attention to ambient odor. *Arch Environ Health* 52: 195-199

Gilbert R, Auchincloss JH Brodsky J, Boden W, (1972) Changes in tidal volume, frequency and ventilation induced by their measurement. *J Appl Physiol* 33:252-254

Gopher D. und Donchin E. (1986) Workload: an examination of the concept. In Boff K. R., Kaufman L., Thomas J. P. (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance*, vol. II, Wiley, New York, chapter 41.

Graf O (1922) Über lohnendste Arbeitspausen bei geistiger Arbeit. *Psychologische Arbeiten* 7: 548-582

Graham F.K. (1979) Distinguishing among orienting, defense and startle reflexes. In H. D. Kimmel, E. H. van Olst, J. F. Orlebeke (Eds), *The orienting reflex in humans*, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 137-67.

Graham F.K., Clifton R.K. (1969) Heart-rate change as a component of the orienting response*. Psychological Bulletin*, 65, 305-320.

Grassino AE, Derenne JP, Almirall J, Milic-Emili J, Whitelaw W (1981) Configuratiion of the chest wall and occlusion pressure in awake humans. *J Appl Physiol* 50:134-142 1981

Greenwald MK, Cook EW, Lang PJ. (1989) Affective judgment and psychophysiological response: dimensional covariation in the evaluation of pictorial stimuli. *J Psychophysiology* 3: 51-64

Grossman P. (1983) Respiration, Stress, and Cardiovascular Function. *Psychophysiology*, 20, 284-300.

Grossman P., Wientjes C. J. E. (1989) Respiratory disorders: asthma and hyperventilation syndrome. In Turpin G. (Ed.), *Handbook of clinical psychophysiology*, Wiley, Chichester.

Guidozol H und Gramowski KH (1987). Repirations-Olfaktometrie: eine objektivierende Methode zur quantitativen Bewertung einer Hyposmie. *Laryngol Rhinol Otol* 66: 570-572

Haas Francois, Distenfeld Suzan, Axen Kenneth, (1986) Effects of perceived musical rhythm on respiratory pattern. *The American Physiological Society*, 1185 - 1191

Hacker W (Hrsg) (1996) *Erwerbsarbeit der Zukunft. Arbeit für Ältere?* Zürich: vdf

Hacker W. (1973) Arbeits- und Ingenieurpsychologische Beiträge zur sozialistischen Rationalisierung der Volkswirtschaft. In Hacker W., Timpe K. P., Vorwerg M. (Hrsgs.), *Arbeits-, ingenieur- und sozialpsychologische Beiträge zur sozialistischen Rationalisierung.* VEB Verlag der Wissenschaften, Berlin.

Hacker W. (1978) *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie, Psychische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten,* Huber Verlag, Bern.

Hackman JR and Oldham GR (1975) Development of the job diagnostic survey. *J Appl Psychology* 60: 159-170

Haldane JS, Meakins JC, Priestley JG (1919) The respiratory response to anoxaemia *J Physiol (Lond)* 52:420-432

Hamm A.O. and Vaitl D. (1993) Emotionsinduktion durch visuelle Reize: Validierung einer Stimulationsmethode auf drei Reaktionsebenen*. Psychologische Rundschau, 44,* 143-161

Hankins T. C., Wilson G. F. (1998) A comparison of heart rate, eye activity, EEG and subjective measures of pilot mental workload during flight. *Aviat Space Environ Med*, 69, 360-7.

Harding R. M. (1987) Human respiratory responses during high performance flight. AGARDograph No. 312, NATO/OTAN, Neuilly-sur-Seine, France.

Harper RM, Frysinger RC, Trelease RB, Marks JD. (1984) State-dependent alteration of respiratory cycle timing by stimulation of the central nucleus of the amygdala. *Brain Research* 306: 1-8

Hart S. G., Hauser J. R. (1987) Inflight application of three pilot workload measurement techniques. *Aviat Space Environ Med*, 58, 402-10.

Harver A, Kotses H. (1987) Effects of auditory stimulation on respiration. *Psychophysiology*, 24, 26-34.

Hebb DO (1949). *The organisation of behaviour*. New York: Wiley

Hey EN, Lloyd BB, Cunningham DJC, Jukes MGM, BoltonDPG. (1966). Effects of various respiratory stimuli on the depth and frequency of breathing in man. *Resp Physiol* 1: 193-205

Heyder J, Gebhard J, Rudolf G, Schiller F, Stahlhofer W, Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range 0.005 - 15 um. *J Aerosol Sci* 17:811-825, 1986

Hockey G. R. J., Coles M., Gaillard A. W. K. (1986) Energetical issues in research on human information processing. In Hockey G. R. J., Gaillard A. W. K., Coles M. (Eds.) *Energetics and Human Information Processing*, M. Nijhoff Publishers, Dordrecht, 3-22.

Hockey G.R.J. (1970) The effect of loud noise on attentional selectivity. *Quaterly Journal of Experimental Psychology 22,* 28-36

Hockey G.R.J. (1979) Stress and the cognitive components of skilled performance. In V. Hamilton & D.W. Warburton (eds). *Human Stress and Cognition*. Chichester, John Wiley

Hockey G.R.J. (1997) Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biol Psychol* 45: 73-93

James W (1884) *What is an emotion?* Mind 9:188-205

Jarrard LE (1995) What does the hippocampus really do?. *Behav Brain Res* 71: 1-10

Jasinkas CL, Wilson BA, Hoare J. (1980) Entrainment of breathing rate to movement frequency during work at two intensities. *Respir Physiol* 42: 199-

Jersild AT (1927) Mental set and shift. *Archives of Psychology* 9: whole issue

Jung CG (1960) *Psychologische Typen*, Zürich, Rascher

Kaczmarek LK, Levitan IB (1987*) Neuromodulation: The biochemical control of neuronal excitability*. New York: Oxford University Press

Kagan J, Rosman BL (1964) Cardiac and respiratory correlates of attention and an analytic attitude. *J Exp. Child Psychol*. 1: 50-63

Kahneman D (1973) *Attention and effort*. Englewood NS: Prentice, Hall

Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, (Eds) (1995). *Neurowissenschaften.* Heidelberg, D: Spektrum, Akademischer Verlag. S 452-453

Karasek RA und Theorell T (1990) Healthy work. Stress, productivity and the reconstruction of working life. New York: Basic Books

Keating W.R., Nadel J.A. (1965) Immediate respiratory response to sudden cooling of the skin. *J Appl. Physiol*, 20, 65-69.

Klinke R, Silbernagel S (1994) Lehrbuch der Physiologie. Stuttgard, New York, Thieme, 699-700

Knasko SC (1993) Perfomance, mood, and health during exposure to intermittent odors. *Arch Environ Health* 48: 305-308

Kobal G., Durand M., Pauli E.C. (1991). Olfactory P300: lateralization of hedonics and discrimination performances. *Chemical Senses 16*, 390

Konno K and Mead J (1967). Measurement of the separate volume changes of rib cage and abdomen during breathing. *J Appl Physiol* 22: 407-422

Konorski J (1967) Integrative activity of the rain: An interdisciplinary approach. Chicago: University of Chicago Press

Kraeplin E (1902) Die Arbeitskurve. *Philosophische Studien* 19, 450 ff.

Lacey J. I. (1967) Somatic response patterning and stress: some revisions of activation theory. In M.H. Appley & R. Trumbull (Eds.), *Psychophysical stress: Issues in research*. New York: Appleton-Century-Crofts, 14-37.

Lacey JI, Lacey BC (1970) Some autonomic-central nervous system relationships. In P black (Ed) *Physiological correlates of emotion*. New York: Academic Press, 205-228

Laffort PA und Dravnieks A. An approach to a physico-chemical model of olfactory stimulation in vertebrates by single compounds. *J Theoretical Biology* 38, 335-345, 1973

Lang P.J. (1980) Behavioral treatment and bio-behavioral assessment: Computer applications. In J.B. Sidowski, J.H. Johnsons & T.A. Williams (eds). *Technology in mental health care delivery systems*. Norwood, NJ, Ablex, pp 119-137

Lang PJ, Greenwald MK, Bradley MM, Hamm AO (1993) Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. Psychophysiology 30: 261-273

Lang P.J., Bradley M.M., Cuthbert B.N. (1990) Emotion, attention and the startle reflex. *Psychological Review, 97*, 377-395

Lang P.J., Bradley M.M., Cuthbert B.N. (1997) Motivated attention: Affect, activation, and action. In P.J. Lang. R.F. Simons, M.T. Balaban (Eds.), *Attention and orienting*, Erlbaum, Hillsdale NJ, 97-135.

Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN (1999): International affective picture system (IAPS): Instruction manual and affective ratings. *Technical Report A-4, The Center for Research in Psychophysiology*, University of Florida.

Langer AW, McCubbin JA, Stoney CM, Hutcheson JS, Charlton JD, Obrist PA (1985) Cardiopulmonary adjustments during exercise and an aversive reaction time task: effects of beta-adrenoceptor blockade. *Psychophysiology* 22: 59-68

Lazarus RS, Avrill JR (1972) Emotion and cognition: With special reference to anxiety. In: CD Spielberger (Ed), *Anxiety: Current trands in theory and resea*rch, Vol 2, New York: Academic press

Lazarus RS, Kanner AD, Folkman S (1980). Emotions: A cognitive phenomenological analysis. In R Plutchik, H. Kellerman (Eds) *Emotion: Theory, Research and Experience,* Vol 1., New York: Academic Press

Lazarus RS und Launier R (1981). Stressbezogene Transaktion zwischen Personen und Umwelt. In JR Nitsch (Hg) *Stress*. Bern: Huber

Lazarus RS, Folkman S (1984) *Stress, Appraisal and Coping*. New York: Springer

Lehmann A. (1914) *Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens*. Reisland, Leipzig, Germany

Levenson RW, Ekman P, Friesen WV (1990) Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity. *Psychophysiology* 27: 363-384

Levine S, Silage D, Henson D (1991) Use of a triaxial magnetometer for respiratory measurements. *J Appl Physiol* 70:2311-2321

Lind F und Hesser CM: (1984) Breathing pattern and lung volume during exercise Acta Physiol Scand 120:123-129

Lindqvist A., Keskinen E., Antila K., Halkola L., Peltonen T., Välimäki I. (1983) Heart rate variability, cardiac mechanics, and subjectively evaluated stress during simulator flight. *Aviat. Space Environ. Med.*, 54, 685-690.

Loeb M. (1986) *Noise and Human Efficiency*. Chichester, John Wiley & Sons, pp 210-215

Lopato M, Onal E, Ginzburg AS,(1983) Respiratory muscle function during CO2 rebreathing with inspiratory flow-resistive loading. *J Appl Physiol* 54:475-482

Lorig TS (1999) On the similarity of odor and language perception. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews 23*, 391-398

Luczak H (1993) *Arbeitswissenschaft.* Berlin: Springer

Lum LC (1976) The syndrome of habitual hyperventilation. In OW Hill (Ed) *Modern trends in psychosomatic medicine.* London, Butterworth

Mador M.J. and Tobin M.J. (1991) Effects of alterations in mental activity on the breathing pattern in healthy subjects. *Am. Rev. Respir. Dis*., 144, 481-487

Mador MJ, Acevedo FA (1991) Effect of respiratory muscle fatigue on breathing pattern during incremental exercise. *Am Rev Respir Dis* 143:462-4668

Malmo R. (1959) Activation: a neuropsychological dimension. *Psychological Review* 66: 367-386

Maltzman I. (1977) Orienting in classical conditioning and generalization of the galvanic skin response to words: An overview. *Journal of Experimental Psychology: General*, 106, 111-119

Marstedt G, Last R, Wahl WB, Müller R (1993) *Gesundheit und Lebensqualität*. Bremen: Angestelltenkammer.

MacLeod CM (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin* 109: 163-203

McLean J, Waterhouse BD (1994). Noradrenergic modulation of cat area 17 neuronal responses to visual stimuli. Brain Res 667: 83-97

McLeod PD (1977) A dual task response modality effect: Support for mulit-processor models of attention. *Quaterly J Exp Psychology* 29: 651-667

McLeod PD (1978) Does probe RT measure central processing demand? *Quaterly J Exp Psychology*, 30: 83-89

Mc Leod PD, Posner MI (1984) Privileged loops from percept to act. In H bouma, DG Bouwhius (Eds) *Attention and performance X: Control of language processes*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Assoc.

Mead J, Peterson N, Grimby G (1967). Pulmonary ventilation measured from body surface movements. *Science* 156:1383-1384

Medical Graphics Corporation (1993) BreezeEx Manual Pneumotachograph CPX/D

Mehrabian A. and Russel J.A. (1974) A verbal measure of information rate for studies in environmental psychology. *Environ. Behaviour*, 6, 233-252

Mekjavic I. B., La Prairie A., Burke W., Lindborg B. (1987) Respiratory drive during sudden cold water immersion. *Respir Physiol*, 70, 121-130.

Milic-Emili J and Grunstein MM (1976). Drive ant timing components of ventilation. *Chest* 70:131-133

Milic-Emili J (1982) Recent advances in clinical assessment of control of breathing. *Lung* 160; 1-17

Milic-Emili J.,Grassino A.E., Whitelaw W.A (1981) Measurement and testing of respiratory drive. In: Hornbein T.F. (Ed.), *Regulation of Breathing. Part II*. Marcel Dekker. New York, 675 – 744

Miller S.B., Ditto B., (1988) Cardiovascular responses to an extended aversive video game task. *Psychophysiology,* 25, 200 – 208

Millman RP, Dong-Chune MD, Chung BA (1986) Importance of breath size in calibrating the respiratory inductive Plethysmograph. *Chest* 89: 840-845

Miltner W., Matjak M., Braun C., Diekmann H., Brody S. (1994) Emotional qualities of odors and their influences on the startle reflex in humans. *Psychophysiology, 34,* 107-110

Mintz S (1969) Effect of actual stress on word associations. *J Abnormal Psychology* 74: 293-295

Moray N (1959) Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quaterly J Exp Psychology* 11: 56-60

Morgan N., Cameron I.R.,(1984) The respiratory response to behavioral and metabolic stimulation. *Clin. Sci.* 67, 61 – 62

Morgan W.P. (1985) Psychogenic factors and exercise metabolism: A review. *Med Sci. Sports Exercise*, 17, 309-316

Morgan WP (1983) Psychometric correlates of respiration: a review. *Am Ind Hyg Assoc J* 44: 677-684

Näätänen R (1979) Orienting and evoked potentials. In H.D. Kimmel, E.H. van Olst & J.E. Orlebeke (eds). *The orienting reflex in humans,* Hillsdale, NJ, Erlbaum, p 61-75

Nachreiner F (1994) Möglichkeiten zur Umsetzung psychophysiologischer Erkenntnisse aus dem Bereich des Arbeitsschutzes. In Burckhardt F und Winkelmeier C (Hg) *Psychologie der Arbeitssicherheit*. Heidelberg, Asanger 156-168

Nakamura H. (1984) Effects of musical emotionality upon GSR and respiration rate: The relationship between verbal reports and physiological responses. *Shinrigaku Kenyu,* 55, 47-50

Nakata M, Hagner IM, Jonsson B (1993) Trapezius muscle pressure pain threshold and strain in the neck and shoulder regions during repetitive light work. Scand *J Rehab Med* 25: 131-137

National Instruments (1998) LabView Manuals, National Instruments (http://www.natinst.com/)

Neubeck K (1992) *Das Atem-Ich*, Basel: Stroemfeld/Nexus, p 53

Neuman O (1984) Automatic processing: A review of recent findings and a plea for an old theory. In W Printz, A Sander (Eds) *Cognition and motor process*. Berlin: Springer

Neuman O (1987) Beyond capacity: A functional view of attention. In H. Heuer, AF sanders (Eds). *Perspectives on selection and action*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc., p 375

Newson-Davis J., Stagg D., Interrelationships of the volume and time components of individual breaths in resting man. *J. Physiol*. 245, 481 – 498, 1975

Ni H, Zhang JX, Harper RM (1990). Respiratory- realted discharge of periaqueductal gray neurons during sleep-waking states. *Brain Research* 511: 319-325

Niimiaa V, Cole P, Mintz S, Shepard RJ (1980) The switching point from nasal to oronasal breathing *Respir Physiol* 42: 61-72

NIMS (Non-Invasive Monitoring Systems (1995) Instruction Manual Respitrace PLUS, NIMS (http://www.ctech.net/nims/)

Norman DA, Bobrow DG (1975). On data-limited and resource –limited processes. *Cognitive Psychology*:44-64

Norman DA, Shallice T. (1986) Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In R Davidson, G Shwartz, D Shapiro (Eds) *Consciousness and self regulation: Advances in research and theory.* New York: Plenum

Obrist PA. (1981) *Cardiovascular psychophysiology*. Plenum Press, New York.

Öhman A. (1986) Emotion from a functional-evolutionary perspective. In: GRJ Hockey, AWK Gaillard, MGH Coles (Eds) *Energetics and human information processing*. Dodrecht: Martinius Nijhoff Publ.

Onians RB. (1951) *The origins of european thought about the body, the mind , the soul the world, time and fate*. Cambridge University Press, 1951, reprint Edition 1987, AYER compagny, Salem, New Hampshire.

Osgood CE, Suci GJ, Tannenbaum PH (1971) *The Measurement of Meaning* (8.Edn) Urbana: University of Illinois

Pashler H (1990). Do response modality effects support mulit-processor models of divided attention? *J Exper Psychology: Human Perception and Performance* 16: 826-842

Pavlov I.P. (1927) *Conditioned reflex*:. Oxford, UK: Clarendon Press

Peak D, Kelly KB, McCool D (1990) Postural effects on measurements of tidal volume from body surface displacements. *J Appl Physiol* 68: 2482-2487

Peak D, McCool FD (1992) Breathing patterns during varied activities, *J Appl Physiol* 73(3):887-893

Perez W, Tobin MJ (1985) Separation of factors responsible for changes in breathing pattern induced by instrumentation. *J Appl Physiol*. 59:1515-1520

Gallego J, Perruchet P, Camus JF (1991) Assessing attentional control of breathing by reaction time. *Psychophysiology* 28: 217-224

Poffenberger AT (1928). Effects of continuous work upon output and feeling. *J Appl Psychology* 12: 72-85

Porges SW (1972). Heart rate variability and deceleration as indexes of reaction time. *J Exp Psychology* 92: 103-110

Porges S. W. (1994) Orienting in a defensive world: Mammalian modification of our evolutionary heritage. A Polyvagal Theory. *Psychophysiology,* 32, 301-318.

Porges S. W., Raskin D. C. (1969) Respiratory and heart rate components of attention. *J Exp Psychol*, 81, 497-503.

Porges S.W., Byrne E.A., (1992) Research methods for measurement of heart rate and respiration. *Biological Psychology* 34, 93 – 130

Posner MI (1978) *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum

Posner MI (1980) Orienting of attention. *Quaterly J Exper Psychology* 32: 3-25

Posner MI, Boies SJ (1971). Components of attention. Psychological Review 78: 391-408

Posner MI, Snyder CRR (1975) Attention and cognitive control. In: RL Solso (Ed). *Information processing and cognition: The Loyola symposium.* Hilsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc.

Posner MI, Snyder CRR, Davidson BJ (1980) Attention and detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174

Rafferty GF, Gardener WN, (1996) Control of the respiratory cycle in conscious humans. *J Appl Physiol* 81: 1744-1753

Rasmussen J. (1981) Models of mental strategies in process plant diagnosis. In Rasmussen J., Rouse W. (Eds.), *Human Detection and Diagnosis of System Failures*, Plenum Press, New York, 241-258.

Rehwoldt F. (1911) Über respiratorische Affektsymptome. *Psychol. Studien*, 7, 141-195

Richards JE, Casey BJ (1991). Heart rate variability during attention phases in young infants. *Psychophysiology* 28: 43-53

Richter P und Hacker W. (1998). *Belastung und Beanspruchung: Stress, Ermüdung und Burnout im Arbeitsleben*. Heidelberg: Asanger

Richter DW, Spyer KM (1990). Cardiorespiratory control. In AD Loewy, KM Spyer (Eds). *Central regulation of autonomic function*. New York: Oxford University Press, 189-207

Rigg J.R.A., Inman E.M., Saunders N.A:, Leeder S.R., Jones N.J., (1977) Interaction of mental factors with hypercapnic ventilatory drive in man. *Clin. Sci* 52, 269 – 275

Ritz T. (1996) *Die Wirkung skelettmuskulärer Aktivität auf den Atemwiderstand: Eine psychologische Untersuchung mit gesunden und asthmatischen Personen*. Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main

Rohmert W (1984) Das Belastungs-Beanspruchungskonzept. *Z Arbeitswissenschaft*, 38: 193-200

Roland PE. (1985). Cortical organisation of voluntary behaviour in man. *Human Neurobiology* 4: 155-167

Roland PE (1994) *Brain Activation*. New York: Wiley-Liss

Rogers RD, Monsell S 81995) Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *J Exp Psychology*: General 124: 207-231

Roscoe AH., (1992) Assessing pilot workload. Why measure heart rate, HRV and respiration? *Biological Psychology*, 34, 259 – 287

Rouselle J.G., Blascovich J., Kelsey R.M., Respiratory activity to a combination of vocal mental arithmetic and aerobic exercise. Paper presented at the 29th *Annual Meeting of the Society for Psycho-physiological Research*, New Orleans, LA, 1989

Roussos C, Macklem PT, The respiratory muscle*. N Engl J Med* 307:7866-797, 1982

Russel JA (1979) Affective space is bipolar. *J Pers Soc Psychol* 39: 345-356

Russel JA (1980) A circumplex model of affect. *J Pers Soc Psychol*. 39: 1161-1178

Sackner MA (1980) Monitoring of ventilation without physical connection to the airway: A review. In F.D. Stott (Ed), *ISAM proceedings of the second international symposium on ambulatory monitoring*. London: Academic Press

Sackner MA, Krieger BP.(1985) Noninvasive respiratory monitoring. In: Scharf SM, Cassidy SS (eds) *Heart-lung interactions in health and disease*. Dekker, New.York, pp 663-805

Sackner MA, Watson H et al (1989) Calibration of respiratory inductive plethysmography during natural breathing. *J Appl Physiol* 66: 410-420

Santibanez-H.G. and Bloch S. (1986) A qualitative analysis of emotional effector patterns and their feedback. Pavlov. *J. Biol. Sci*., 21, 108-116

Saunders NA, Heilpern S, Rebuck AS (1972) Relation between personality and ventilatory response to Carbon Dioxide in normal subjects: A role in asthma? *British Medical J* 1: 719-721

Schachter J (1957) Pain, fear, and anger in hypertensives ans normotensives. *Psychosom. Med*. 19: 17-29

Schaffer JP (1986) Modified sequentially rejective multiple test procedures. *J Am Stat Assoc* 81: 826-831

Scheuch K. (1997). Psychomentale Belastung und Beanspruchung im Wandel von Arbeitswelt und Umwelt. *Arbeitsmed Sozialmed Umwetlmed* 32: 289-296

Schleifer LM, Ley R. (1994) End-tidal PCO2 as an index of psychophysiological activity during VDT data-entry work and relaxation. *Ergonomics* 37: 245-254

Schleifer LM, Ley R, Pan C (1995) Breathing and biomechanical indices of stress in mood disturbances and right-hand musculoskeletal discomfort in repetitive computer work. Paper presented at *the 2nd Annual Meeting of the Int. Society for the Advancement of Respiratory Physiology*, Toronto.

Schnore MM (1959) Individual patterns of physiological activity as a function of task differences and degree of arousal. *J Exp. Psychol*. 58: 117-128

Schönpflug W. (1983) coping efficiency and situational demands. In GRJ Hockey (Ed) *Stress and Fatigue in Human performance*. Chichester: John Wiley

Segal M, Bloom FE, (1976) The action of norepinephrine in the rat hippocampus. IV. The locus coeruleus stimulation on evoked hippocampal unit act. *Brain research* 107: 513-525

Sethre T., Läubli T., Hangartner M., Berode M., Krueger H (2000): Isopropanol and methylforamte exposure in a foundry: exposre data and neuro-behavioural measurements. *International Archives of Occupational and Environmental Health, 73* 528-536

Sethre T., Läubli T., Hangartner M., Berode M., Krueger H (2000): Isopropanol and methylforamte exposure in a foundry: exposre data and neuro-behavioural measurements. *Int Arch Occup Environ Health*, 73 in press

Shaarratt MT, Henke KG, Aaron EA, Pegelow DF, Dempsey JA (1987) Exercise induced changes in functional residual capacity *Respir Physiol* 70:313-326,

Shallice T and Burgess P (1993). Supervisory control of action thougt selection. In AD Baddeley and L Weiskrantz (Eds) *Attention, Selection, Awareness and Control: A Tribute to D. Broadbent*. Oxford: Oxford University Press

Sharpless S, and Jasper H.H. (1956) Habituation of the arousal reaction. *Brain 79:* 655-680

Shea S.A., Walter J., Pelley C., Murphy K., Guz A., (1987) The effect of visual and auditory stimuli upon resting ventilatory drive in man. Respir. Physiol. 68, 345 – 357

Sherwood A, Allen MT, Obrist PA, Langer AW (1986). Evaluation of beta-adrenergic influences on cardiovascular and metabolic adjustments to physical and psychological stress. *Psychophysiology* 25: 172-178

Shusterman D und Balmes J (1997). Measurement of nasal irritant sensitivity to pulsed carbon dioxide: a pilot study. *Arch Env Health* 52 (5): 334-340

Shusterman D. (1992). Critical review: The health significance of environmental odor pollution. *Archives of Environmental Health, 47*, 76-87

Singer W (1994) The organisation of sensory motor representations in the neocortex: A hypotheses based on temporal coding. In: C Umilta, M Moscovitch (Eds). *Attention and performance XV: conscious and nonconscious information processing*. Cambridge, MA: MIT Press

Sims S., Caroll D., Turner J.R., Hewitt J.K. (1988) Cardiac and metabolic activity in mild hypertensiv and normotensive subjects. Psychophysiology, 25, 172-178

Skaggs E.B. (1930) Studies in attention and emotion. *J. Comp. Psychol*. 10, 375-419

Snyder F, Scott J 81972). The psychophysiology of sleep. In NS Greenfield, RA Sternbach (Eds) *Handbook of Psychophysiology*, New York, Holt, Rinehart and Winston, 645-708

Sobel N. Prabhakaran V. Desmond JE, Glover GH, Goode RL, Sullivan EV, Gabrieli JD (1998) Sniffing and smelling: separate subsystems in the human olfactory cortex. *Nature 392*, 282-286

Sobel N., Khan RM, Hartley CA, Sullivan E, Gabrieli JDE. (2000) Sniffing longer rather than stronger to maintain olfactory detection threshold. *Chemical Senses 25:*1-8

Sokolov E. N. (1963) *Perception and the conditioned reflex*. Elmsford, NY: Pergamon Press,

Sola AE, Rodenberger ML, Gettys BB (1955) Incidence of hypersensitive areas in posterior shoulder muscles. A survey of two hundred young adults. *Am J Physical Med* 34: 585-590

Spada H (1992) *Lehrbuch allgemeine Psychologie* (2 Aufl.) Bern: Huber

Spector A, Beiderman I (1976) Mental set and mental shift revisited. *Am J Psychology* 89: 669-679

Spitzer M. (1999) *The mind within the net*. Cambridge, MA: MIT Press

Stevenson I. and Ripley H.S. (1952) Variations in respiration and in respiratory symptoms during changes in emotion. *Psychosom. Med*., 14, 476-490

Styles EA (1997). *The psychology of attention*. Sussex: Psychology Press

Storm Ch, Storm T (1987) A taxonomic study of the vocabulary of emotions. *J Pers Soc Psychol* 53: 805-816

Stroop JR (1935) Studies of interference in serial-verbal reaction. J Exper Psychology 18: 643-662

Suter J. (1912) Die Beziehungen zwischen Aufmerksamkeit und Atmung. *Arch. Ges. Psychol.* 25: 78-150

Svebak S. (1975) Respiratory patterns as predictors of laughter. *Psychophysiology,* 17, 535-540

Svebak S (1982). The effects of difficulty and threat of aversiv electric shock upon tonic physiological chenges. *Biol. Psychol*. 14: 113-128

Teghtsoonian R. and Teghtsoonian M (1982). Perceived effort in sniffing: the effect of sniff pressure and resistance. *Perceptual Psychophysics., 31*, 324-329

Teghtsoonian R. and Teghtsoonian M (1984). Testing a perceptual constancy model for odor strength: the effects of sniff pressure and resistance to sniffing. *Perception 13*, 743-752

Theorell T, Ringdahl-Harms K, Ahlberg-Hulten G, Westin B (1991) Psychosocial job factors and symptoms from the locomotor system – A multicausal analysis. *Scandinavian J Rehabilitation Med* 23: 165-173

Tent L (1968). Versuche zur Früherfassung von Merkmalen mentaler Überbeanspruchung. Ein Beitrag zum Problem vorzeitiger Invalidität. *Archiv gesamte Psychologie* 120: 1-24

Thorndike EL (1900) Mental fatigue. *Psychological Review* 7: 466-482

Tipper SP (1985) The negative priming effect: Inhibitory effects of ignored primes. *Quaterly J Exp Psychology* 37A: 571-590

Tipper SP, Brehaut JC, Driver J (1990). Selection of moving and static objects for the control of spatially based attention. *J Exp Psychology: Human Perception and Performance* 16: 492-504

Tipper SP, Weaver B, Houghton G (1994). Behavioural goals determine inhibitory mechanisms of selective attention. *Quaterly J Exp Psychol* 47A: 809-840

Tobin M.J. , Mador M.J., Guenther S.M., Lodato R.F., Dantzker D.R.(1988). Variability of resting respiratory drive and timing in healthy subjects. *J. Appl. Physiol*. 65, 309 – 317,

Tobin M.J., Chadha T.S., Jenouri G., Birch S.J., Gazeroglu H.B., Sackner M.A.,(1983) Breating patterns. 2. Diseased subjects. *Chest* 84, 286 – 294,

Tobin MJ (1992) Breathing pattern analysis, *Intensive Care Med* 18:193-201

Tobin MJ, Perez W, Guentheer SM,(1987). Does ribcage abdominal paradox signify respiratory muscle fatigue? *J Appl Physiol* 63:851-860.

Tobin MJ. Noninvasive evaluation of respiratory movement. (1986) In: Nochomovitz ML, Cherniack NS (eds) *Noninvasive respiratory monitoring*. Chruchill Livingstone, New-York, p 29-57

Turner J.R., Carroll D., Courtney H., (1983) Cardiac and metabolic responses to „space invaders“: an instance of metabolically-exaggerated cardiac adjustment. *Psychophysiology* 20, 544 – 549

Turner J.R., Carroll D., (1985) Heart rate and oxygen consumption during mental arithmetic, a video game and graded exercise: Further evidence of metabolically-exaggerated cardiac adjustments? *Psychophysiology* 22, 261 – 266

Turpin G. (1986) Effects of stimulus intensity on autonomic responding: The problem of differentiating orientation and defence reflexes. *Psychophysiology*, 23, 1-14

Turpin G., Schaefer F., Boucsein W. (1999) Effects of stimulus intensity, risetime, and duration on autonomic and behavioral responding: Implications for the differentiation of orienting, startle, and defense responses. *Psychophysiology*, 36, 453-463.

Turpin G., Siddle DAT. (1983) Effects of stimulus intensity on cardiovascular activity. *Psychophysiology*, 20, 611-624.

Ursin H, Jellestad F, Cabrera IG (1981). The amygdala, exploration and fear. In Y Ben-Ari (Ed), *The amygdaloid complex*. Amsterdam: Elsevier, 317-329

Van Dixhoorn J (1998) Cardiorespiratory effects of breathing and relaxation instruction in myocardial infarction patients. *Biological Psychology* 49: 123-135

Van Toller S. (1988) Emotions and the brain. In: S. van Toller, G Dodd (Eds) *Perfumery: The psychology and biology of fragrance*. Landon: Chapman and Hall.

Varioport, Bedienungsanleitung, Ausgabe 1, Stand 1.7.99

Veltman J.A., Gaillard A.W.K.,(1998) Physiological workload reactions to increasing levels of task difficulty. *Ergonomics* 41 (5): 656 - 699,

Vernet-Maudry E, Alaoui-Ismaili O Dittmar A, Economides S. (1995) Connexion between olfaction and emotion estimated by autonomic nervous system (abstract) *Chemical Senses 20*, 128-129

Verschakelen JA, Deschepper K, Clarysse I, Demedts M. (1989) *Eur Respir J* 2: 71-77

Viala D. (1997) Coordination of Locomotion and Respiration. InAD Miller, AL Bianchi, BP Bishop (Eds) *Neural control of the respiratory muscles*. New York: CRC Press. p 285-296

Vila J., Perez M. N., Fernandez M. C., Pegalajar J., Sanchez M. (1997) Attentional modulation of the cardiac defense response in humans. Psychophysiology, 34, 482-487.

von Euler C (1986) Brain stem mechanisms for generation and control of breathing pattern. In: Cherniak NS, Widdicombe JG *Handbook pf physiology. Control of breathing*. Sec 3. Vol II, Part 1. Bethesda, MD: Am Physiol Soc: 1-67

von Euler C., (1977) The functional organization of the respiratory phase-switching mechanisms. *Fed. Proc*. 36, 2375 – 2380,

von Gerhardt HJ und Rauh Ch (1963). Objektive Olfaktometrie. Erfahrungen mit Atemregistrierung unter Geruchsreiz. *Zeitschrift für Laryngologie, Rhinologie und Otologie,* 42: 658-668

Vroon P. (1994) *Smell: the secret seducer.* New York: Rarrar, Strauss, and Giroux

Waersted M, Bjorklund R, Westgaard RH (1991) Shoulder muscle tension induced by two VDT-based tasks of different complexity. *Ergonomics* 34: 137-150

Waersted M, Westgaard RH. (1996). Attention-related muscle activity in different body regions during VDU work with minimal physical activity *Ergonomics* 39: 661-676

Walker J.C., Kendal-Reed M., Morgan W.T., Polyakov V.V., Lutz R.W. Human responses to propionic acid.(2001) II Quantification of breathing responses and their relationship to perception. *Chemical senses*: in press

Walker J.C., Nelson P.R., Cain W.S., Utell M.J., Joyce M.B., Morgan W.T., Steichen T.J., Pritchard W.S., Stancill M.W. (1997) Perceptual and psychophysiological responses of non-smokers to a range of environmental tobacco smoke concentrations. *Indoor Air*, 7, 173-188

Walker JC and Jennings RA (1991). Comparison of odor perception in humans and animals. In: D.G. Laing, R.L. Doty, W. Breipohl (eds). *The human sense of smell* , Berlin, Springer-Verlag, pp 261-280

Walker JC, Reynolds JH, Warren DW, Sidman JD. (1990). Responses of normals and anosmic subjects to odorants. In BG Green, JR Mason, MR Kare (Eds), *Chemical Senses*, Vol.2: Irritation, New York: Marcel Dekker p 95-117

Warr P. (1987) *Work, unemployment, and mental health*. Oxford: Claredon Press

Warren D.W., Odont D., Walker J.C., Drake A.F., Lutz R.W. (1994) Effects of odorants and irritants on respiratory behaviour. *Laryngoscope,* 104, 623-626

Warren DW, Walker JC, Drake AF, Lutz R (1992). Assessing the effects of odorants on nasal airway size and breathing. *Physiol Behav* 51: 425-430

Waterhouse BD, Aziz SA, Burne RA, Woodward DJ. (1990) Modulation of rat cortical area 17 neuronal responses to moving stimuli during norepinephrine and serotonin microiontophor. *Brain Res* 514:276-292

Watson D, Tellegen A (1985) Towards a consensual structure of mood. *Psychol Bull* 98:219-235

Weber A, Fussler C, O'Hanlon JF, Gierer R, Grandjean E (1980) Psychophysiological effects of repetitive tasks. *Ergonomics* 23: 1033-1046

Weissmann C, Askanazy J, Milic-Emili J, Kinney JM (1984): Effect of respiratory apparatus on respiration. *J Appl Physiol* 57:475-480

Westgaard RH (1996) Effects of psychological demand and stress on neuromuscular function. In SD Moon and SL Sauter (eds) *Beyond biomechanics: Psychosocial aspects of musculoskeletal disorders in office work*. Taylor & Francis, London: 75-89

Welford AT. (1978) Mental Work-load as a function of demand, capacity, strategy and skill. *Ergonomics* 21: 151-167

Wickens CD (1984) Processing resources in attention. In: R Parasuraman, DR Davies (Eds) *Varieties of attention*. Orlando, FL: Academic Press

Wickens C. D. (1986) *Engineering Psychology and Human Performance*. Merill Publishing, Columbus (O).

Wieland-Eckelmann R (1992). *Kognition, Emotion und psychische Beanspruchung*. Göttingen: Hogrefe

Wientjes C. J. E. (1992) Respiration in psychophysiology: methods and applications. *Biol Psychol,* 34, 179-203.

Wientjes C.J.E. (1993) Psychological influences upon breathing: Situational and dispositional aspects. Doctoral Dissertation, Tilburg

Wientjes C.J.E. and Grossman P. (1998) Respiratory psychophysiology as a discipline: introduction to the special issue. *Biological Psychology*, 49, 1-8

Wientjes CJ.E., Grossman Paul, Gaillard Anthony W.K., (1998) Influence of drive and timing mechanisms on breathing pattern and ventilation during mental task performance. *Biological Psychology* 49, 53 - 70, 1998

Wientjies CJ.E., Grossman P, Gaillard AW.K., Defares P.B.(1986), Individual differences in respiration and stress. In: R. Hockey, A. Gaillard and M. Coles (Eds.), *Energetics and human information proces*sing. Martinus Nijhoff, Dordrecht,

Wilson MA, McNaughton BL (1994) Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science* 265: 676-679

Wilson GF, Eggemeier FT., (1991). Physiological measures of workload in multi-task environments. Chapter in D. Damos (Ed.), *Multiple task performance*: Selected topics (329 – 260). London: Taylor and Francis

Wilson GF.,(1992) Applied use of cardiac and respiration measures: Practical considerations and precautions. *Biological Psychology* 34, 163 – 178, 1992

Winkel J, Westgaard RH (1992) Occupational and individual risk factors for shoulder-neck complaints: Part II – The scientific basis (literature review) for the guide. Int J Industrial Ergonomics 10: 85-104

Winneke G. (1992) Structure and determinants of psychophysiological responses to odorant/irritant air pollution. *Ann. NY Acad. Sci*., 641, 261-276

Wood N, Cowan N (1995). The cocktail party phenomenon revisited: How frequent are attention shifts to one's name in an irrelevant auditory channel? *J Exp Psychol, Learning Memory and cognition* 2: 255-260

Woodworth R.S. and Schlosberg H. (1938) *Experimental Psychology*, New York, Holt

Woodworth R.S. and Schlosberg H. (1955) *Experimental Psychology* (Revised Ed.) Holt, New York

Wundt W (1914) *Grundriss der Psychologie* (12.Aufl.) Leipzig: Körner

Wuyman B, Moosavi SH, Decety J, Adams L, Lansing RW, Guz A (1995) Mental simulation of dynamic exercise produces respiratory responses which are more apparment in competitive sportsmen. *J Physiology (Cambridge*) 482: 713-724

Yan S, Sliwinski P, Macklem PT (1996) Association of chest wall motion and tidal volume responses during CO2 rebreathing. J Appl Physiol 81(4):1528-1534

Yeh Y, Wickens CD (1988) Dissociation of performance and subjective measures of workload. *Human Factors* 30: 111-120

Yerkes RM und Dodson JD. (1908) The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation. *J Comp Neurol Psychol* 18, 459-482

Younes M, Kivinen G, (1984) Respiratory mechanics and breathing pattern during and following maximal exercise *J Appl Physiol* 57:1773-1782

Yunus MB, Masi AT, Calabro JJ, Miller KA, Feugenbaum SL (1981). Primary fibromyalgia (fibrositits): clinical study of 50 patients with matched normal conrols. *Seminars in Arthritis and Rheumatism* 11: 151-171

Zijlstra F. R. H. (1993) *Efficiency in work behaviour. a design approach for modern tools.* Thesis, Technical University of Delft, Delft.

Zimbardo PH (1992) *Psychologie* (5.Aufl) Berlin: Springer

Zimmer DE (1984) *Die Vernunft der Gefühle*. Munchen: Piper

Zimmermann PV, Connellan SJ, Middleton HC, Tabona MV, Goldman MD, Pride N. (1983) Postural changes in rib cage and abdominal volume-motion coefficients and their effects on the calibration of a respiratory inductance plethysmograph *Am Rev Respir Dis* 127:209-214

11 Glossar

EKG: Elektrokardiogramm (Messung der Herzaktivität)

EMG: Elektromyogramm (Messung der Muskelaktivität)

F: weiblich

G: Geruch

HR: Herzrate = Herzfrequenz = Puls

HRV: Herzratenvariabilität = Herzfrequenzvariabilität = Pulsvariabilität

H2S: Schwefelwasserstoff, Hydrogensulfid

I: Intensität

K: Kognition

KRE: Reaktionszeit in der Gedächtnisaufgabe

KRITA: Anzahl Richtige in% der gegebenen Antworten

KRIZI: Anzahl richtige Antworten in % der geforderten Antworten

KT: Kombitest (Test2)

M: männlich

MO: mentale Aufgabe ohne Geruch

M1: mentale Aufgabe mit schwachem Geruch

M2: mentale Arbeit mit stärkerem Geruch

MT: Multitest (Test3)

MV: Minutenventilation: RR x Vi

MVC: maximum voluntary contraction (maximale willentliche Muskelanspannung der Muskeln). Dient oft als Referenzwert der EMG-Messung

MVE: maximum voluntary EMG (Muskelaktivitätsaufzeichnung bei maximaler willentlicher Muskelanspannung)

NH3: Ammoniak

nRMS: normierte RMS-Kurve

PRE: Reaktionszeit in der peripheren Reaktionsaufgabe

PRITA: Anzahl Richtige in % der gegebenen Antworten

PRIZI: Anzahl Richtige in % der geforderten Antworten

RO: Ruhebedingungen ohne Geruch

R1: Ruhebedingungen mit schwachem Geruch

R2: Ruhebedingungen mit stärkerem Geruch

RMS: Root Mean Square (quadrierte Mittelwerte); wird bei der Berechnung von EMG-Mittelwerten verwendet.

RR: Atemfrequenz

%RC: prozentualer Anteil der Thoraxbewegung am gesamt Volumen

S: Sex, Geshclecht

SC: Hautleitfähigkeit

SD: Standardabweichung

SEM: Standardfehler des Mittelwertes

SCV: Variabilität der Hautleitfähigkeit

%S: 1-30 Sekunden nach Beginn der Stimulierung

%Sa: 1-15 Sekunden nach Beginn der Stimulierung

%Sb: 16-30 Sekunden nach Beginn der Stimulierung

Te: Expirationszeit in sek

Ti: Inspirationszeit in sek

Ti/Ttot: Duty cycle

TL: Tapping langsam (Test4)

TR: Tracking Test (Test1)

TS: Tapping schnell (Test5)

TT: Abstand des Kursors vom Ziel (Trackingaufgabe)

Ttot: Zeit eines Atmungszyklus (Ti + Te)

Variabilität: (mean/SD) Mittelwert eines Parameters dividiert durch seine Standardabweichung

Ve: Expirationsvolumen (Vol., das in 1 Atemzug ausgeatmet wird) in ml

Vi: Inspirationsvolumen (Vol., das in 1 Atemzug eingeatmet wird) in ml

Vi/Ti: Inhalationsfluss oder mittlere Inhalationsrate

VP: Versuchsperson

12 Verzeichniss der Tabellen

Tabelle 1: Charakterisierung der Orientierung-, Schreck- und Abwehrreaktion 37
Tabelle 2: Übersicht über Atemantworten in Bezug auf Emotionen und mentale Arbeit. Vt = Atemzugvolumen, RR = Atemrate, Vi/Ti = Inspirationsfluss, % Rc = Prozentualer Anteil des Brustkobes am gesamten Atemzugsvolumen (%Rc +%Ab = Vt). 54
Tabelle 3: Prinzipien, Kennzeichen und Problematik der verschiedenen Kalibrierungsmethoden.....66
Tabelle 4: Einfluss des Positionswechsels auf die Genauigkeit der Volumenmessung mittels Respitrace.....68
Tabelle 5: Charakteristika der Versuchspersonen 70
Tabelle 6: Beschreibung der berücksichtigten Sitzpositionen (OS = Oberschenkel)72
Tabelle 7: Regressionskoeffizienten und Interzepte (Besser Plural!!) aufgeschlüsselt nach Kalibrierungsposition und eingenommener Körperhaltung 74
Tabelle 8: RC-Anteil am Vt in % (Mittelwert (SD).....76
Tabelle 9: Funktionsbeschreib der RespiG-Files 84
Tabelle 10: Beschreibung der .lor Datei 114
Tabelle 11: Beschreibung der loc. Datei.....115
Tabelle 12: Beschreibung der .loa Datei 116
Tabelle 13: Charakterisierung der Versuchspersonen 122
Tabelle 14: p- und F-Werte der verschiedenen Atemparameter während der verschiedenen Pausen.....137
Tabelle 15: ANOVA p- und F-Werte für den Vergleich der Atemparameter der Test- und Pausenphasen 138
Tabelle 16: Zusammenstelleung der ANOVA p- und F-Werte des gruppierenden Faktors Geschlecht für die Brustkorbatmung (%RC).....138
Tabelle 17: Zusammenstellung der ANOVA p- und F-Werte während Test- (T) und Pausenphasen (P) sowie der Atemantwort (Delta)für den Vergleich zwischen Männern und Frauen 139
Tabelle 18: Zunahme der Minutenventilation in Mililiter und (SD) unter den verschiedenen Aufgaben 142
Tabelle 19: Übersicht über die p und F-Werte der Varianzen zwischen den Tests und zwischen den Pausen, sowie zwischen Test und Pausen.....143

Tabelle 20: Mittelwerte der verschiedenen Muskelaktivitäten während den unterschiedlichen Aufgaben in % des Referenzwertes (SD) sowie die F und p Werte der Varianzanalyse. 145
Tabelle 21: Vergleich der Experteneinschätzung mit der tatsächlichen Muskelaktivität: Rangierung der 5 Tests nach Anforderungen an die Motorik (Rang 1: höchste Anforderung). 146
Tabelle 22: Pearson correlation matrix zwischen den Bewertungskriterien für die einzelnen Tests 147
Tabelle 23: Mittelwerte der subjektiven Einschätzung für die verschiedenen Aufgaben. 147
Tabelle 24: Leistungsparameter der verschiedenen Aufgaben, wenn kombiniert (Multitest) oder alleine durchgeführt. 148
Tabelle 25: Hypothesenprüfung mittels den entsprechenden Kontrastmatrixen.....149
Tabelle 26: Charakterisierung der Versuchpersonen und individuelle Geruchsschwellen 167
Tabelle 27: Mittelwerte und Standardabweichung der einzelnen Atemparameter aufgeschlüsselt nach Gerüchen. 168
*Tabelle 28: General Linear Modell mit Geruch, Geruchsintensität und Kognition als within Faktor und Sex als between Subjekt Faktor. G = Geruch, I = Intensität,K = Kognition, H-F = p von Huyn-Feldt. * Varianzgleichheit nicht erfüllt. (0excl.)=Phasen ohne Geruch weggelassen, (nur GS2)= nur Phasen mit stärkerem Geruch (2xGeruchsschwelle) 169*
Tabelle 29: Resultate des Wilcoxon-Tests über Drive und Ti nach Geruch in % vor Geruch. ns = p>0.5 172
Tabelle 30: Mittelwerte und Standardabweichungen der wichtigsten Performance Parameter (KR = Anzahl Richtige im Gedächtnistest, nicht korrigiert für Zielvorgaben) 176
*Tabelle 31: GLM mit Performance Variabeln als Abhängige, Geruch und Intensität als within Faktor und Sex als Between-Faktor, (O excl) = RO und MO ausgeschlossen, (nur G2) = nur über die Phasen mit stärkerem Geruch. I*S = Interaktion Intensität/Sex, G*S = Interaktion Geruch/Sex. 176*
Tabelle 32: Mittelwerte der subjektiven Einschätzung der Valenz, Erregung und Dominanz aufgetrennt nach Gerüchen und Phasen. 179

Tabelle 33: Einfluss von Geruch (G), Intensität (I) und Kognition (K) als within Faktor und Sex als between-Faktor, p = Huyn-Feldt. (nur Variabeln und Interaktionen aufgelistet, wo mindestens eine Signifikanz gefunden wurde).....180
Tabelle 34: Normative Einschätzung der ausgewählten Bilder für Frauen, Männer und beide Geschlechter zusammen gemäss (Lang 1999) sowie Mittelwert und Standardabweichung (SD) für jede Bildserie.....197
Tabelle 35: Charakterisierung der Versuchspersonen.....201
*Tabelle 36: Mittelwerte und (SD) für die affektiven Dimensionen der einzelnen Bildserien, * p<0.001 .....202*
Tabelle 37: Vergleich der affektiven Einschätzungen mit denen der normativen IAPS Werten. p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001.....206*
Tabelle 38: Lineare und Quadratische Trends zwischen Atemparametern undaffektiven Dimensionen (rangskaliert). %S = gesamte 30 s, %Sa = 1-15 s, %Sb = 16-30 s 215

13 Verzeichniss der Abbildungen

Abbildung 1:Tätigkeitsregulation unter Belastung, die Regulationen sind kursiv eingezeichnet (mod. nach Richter und Hacker 1998).....29
Abbildung 2: Die Parameter eines Atemzuges, einmal als Fluss-Zeitkurve, einmal als Volumen-Zeitkurve dargestellt. 61
Abbildung 3: Ablauf eines gesamten Versuches.....71
Abbildung 4: % Anteil der Abweichungen, die über ±20% von der ermittelten Regressionsbeziehung in der Kalibrierungsposition HSH (vordere Abb.) und VSH liegen 75
Abbildung 5: Messaufbau für RespiG 83
Abbildung 6: Schematische Darstellung des internen Aufbaus des Hauptmoduls von RespiG. 86
Abbildung 7: Spektrogramm der Störung (Brummschleife) 90
Abbildung 8: Schematische Darstellung des internen Aufbaus von RespiG Kalibrierung. 91
Abbildung 9: Analoges Flow-Signal, auf welches der Min/Max-Algorithmus erfolgreich angewendet wurde.....94
Abbildung 10: Bestimmung des Umrechnungsfaktors für FLOW von Volt nach Milliliter.....99
Abbildung 11: RespiG – Atemmuster-Aufzeichnung (LabView virtual instrument)101
Abbildung 12: RespiG-Kalibrierungsfenster.....107
Abbildung 13: Auswertung der Kalibrierungsmessungen und Anzeige des Umrechnungsfaktors (%Vt zu Vt), wobei die Messgenauigkeit ok ist.....110
Abbildung 14: Messwerte der letzten Kalibrierungsphase (Messgenauigkeit ok) ..111
Abbildung 15: Auswertung der Kalibrierungsmessungen und Anzeige des Umrechnungsfaktors (%Vt zu Vt), wobei der Messfehler zu gross ist 111
Abbildung 16: Messwerte der letzten Kalibrierungsphase (Messfehler zu gross) Grund war ein zu loses "Rip cage"-Band, das auf- und abrutschte.....112
Abbildung 18: Geräte für die EMG-Messung 124
Abbildung 19: Versuchsablauf.....126
Abbildung 20: Vi, Ve Plot mit gesetzten Markern 134

Abbildung 21:Vergleich des Drives (Mittelwert aller VP) während der Pausen in zeitlicher Abfolge 137
Abbildung 22: Darstellung der Anteile der Brustatmung bei Frauen und Männern am gesamten Volumen, während den Test- und Pausenphasen.....138
Abbildung 23: Veränderungen des Inspirationsvolumens bei den verschiedenen Tests.....140
Abbildung 24: Veränderung der Inspirationszeit bei den verschiedenen Tests 141
Abbildung 25: Veränderungen von Vi/Ti bei den verschiedenen Tests.....141
Abbildung 26: Puls während den verschiedenen Pausen (Pause 1 = Pause vor dem 1. Versuch).....143
Abbildung 27: Pulsantwort auf die verschiedenen Testanforderungen 144
Abbildung 28: Muskelaktivität in Prozent des Referenz EMG's während den verschiedenen Tests (Mittelwerte aller VP) 145
Abbildung 29: Zubereitung und Verabreichung der Gerüche 162
Abbildung 30:Ti dargestellt als Box-Plot aufgetrennt in Gerüche und Bedingungen, wobei nur Ruhe mit stärkerem Geruch und mentale Aufgabe mit stärkerem Geruch dargestellt sind. Die Geruchsreihenfolge ist 1=Pentylacetat, 2= Menthone, 3= H2S, 4= NH3.....171
Abbildung 31: Box-Plot von Vi/Ti nach Stimulus in % vor Stimulus für die 4 Gerüche. 173
Abbildung 32: zeigt als Box-Plot die, wie oben beschrieben, errechneten Differenzen in Vi/Ti während der mentalen Arbeit für die verschiedenen Gerüche. 1 = Pentylacetat, 2= Menthon, 3 = H2S, 4 = NH3, wobei H2S und NH3 beide signifikant unterschiedlich sind von Menthon und Pentylacetat.....174
Abbildung 33: Anzahl richtige Antworten pro Zielvorgabe im Gedächtnistest in Abhängigkeit der Gerüche, ausgedrückt als % der geruchsfreien Phase 178
Abbildung 34: Reaktionszeit im peripheren Aufmerksamkeitstest in Abhängigkeit der Gerüche ausgedrückt in % der geruchsfreien Phase.....178
Abbildung 35: Mittelwerte von Valenz, Arousal und Dominanz aufgetrennt nach Gerüchen und Bedingungen. hell schraffiert = mentale Aufgabe, dunkel schraffiert = Ruhe. Immer Balken 1,2 = Pentylacetat, 3,4 = Menthon, 5,6 = H2S, 7,8 = NH3 180
Abbildung 36: Mittelwerte der Valenz Einschätzung für Frauen und Männer (mean und SD).....203

Abbildung 37: Mittelwerte und SD der Erregungseinschätzung für Frauen und Männer *204*
Abbildung 38: Mittelwerte und SD für die Dominanz-Einschätzung von Frauen undMännern..... *204*
Abbildung 39: Valenz-Einschätzung in Abhängigkeit der PersönlichkeitsvariableExtraversion (mean und SD)..... *205*
Abbildung 40: Valenz und Dominanz Einstufungen..... *206*
Abbildung 41: Veränderung von Vi/Ti bei den einzelnen Bildserien (mean und SEM) *208*
Abbildung 42: Vi, Ti und Inspirationsfluss Vi/Ti ausgedrückt als Median über alleBildserien in Abhängigkeit der Persönlichkeitsvariable Extraversion..... *209*
Abbildung 43: Kovariation der Valenz Einstufungen mit dem Inspirationsfluss (Vi/Ti%Sb). Die Abbildung zeigt Mittelwerte und SEM bei jedem subjektiven Rang. Linear R (Pearson)=-0.642..... *210*
Abbildung 44: Verteilung der intrasubjektiven Korrelationen zwischen Valenz undInspirationsfluss (Vi/Ti %Sb). Korrelationen unter 0 weisen in die entgegengesetzte Richtung..... *210*
Abbildung 45: Kovariation der Valenz Einstufungen mit dem Inspirationsvolumen (Vi%Sa). Die Abbildung zeigt Mittelwerte und SEM bei jedem subjektiven Rang für alle Versuchspersonen. *211*
Abbildung 46: Kovariation der Valenz Einstufungen mit dem Inspirationsvolumen (Vi%Sa). Die Abbildung zeigt Mittelwerte und SEM bei jedem subjektiven Rang für 13 Versuchspersonen. *211*
Abbildung 47: Kovariation der Valenz Einstufungen mit dem Inspirationsvolumen (Vi%Sa). Die Abbildung zeigt Mittelwerte und SEM bei jedem subjektiven Rang für 9 Versuchspersonen. *212*
Abbildung 48: Beziehung zwischen der subjektiven affektiven Dimension Erregung (inRangreihenfolge) und Ti (Mittelwerte und SEM). Lineares R (Pearson) = 0.743 ..... *213*
Abbildung 49:Verteilung der individuellen Korrelationen zwischen Arousal und Inspirationszeit über die ganze Bildserie (Ti %S). *213*
Abbildung 50: Individuelle Korrelationen zwischen Arousal Einstufungen und dem Inhalationsfluss (Vi/Ti %Sb)..... *214*

Abbildung 51: Kovariation der affektiven Dominanz-Einstufungen mit dem Inspirationsfluss (Vi/Ti %Sb). Mittelwerte und SEM.....215
Abbildung 52: Kovariation zwischen Arousal und Hautleitfähigkeit SC (%Sa). (Mittelwerte und SEM). Linear R (Pearson)=0.799. Ähnliche Werte wurden für %Sb und %S erhalten.....218
Abbildung 53: Kovariation zwischen Arousal und Variabilität der Hautleitfähigkeit SCV (%S). (Mittelwerte und SEM). Linear R (Pearson)=0.767.....218
Abbildung 54: Kovariation zwischen Arousal und HRV (%S) Mittelwerte und SEM. Quadratisches R^2=0.805.....219